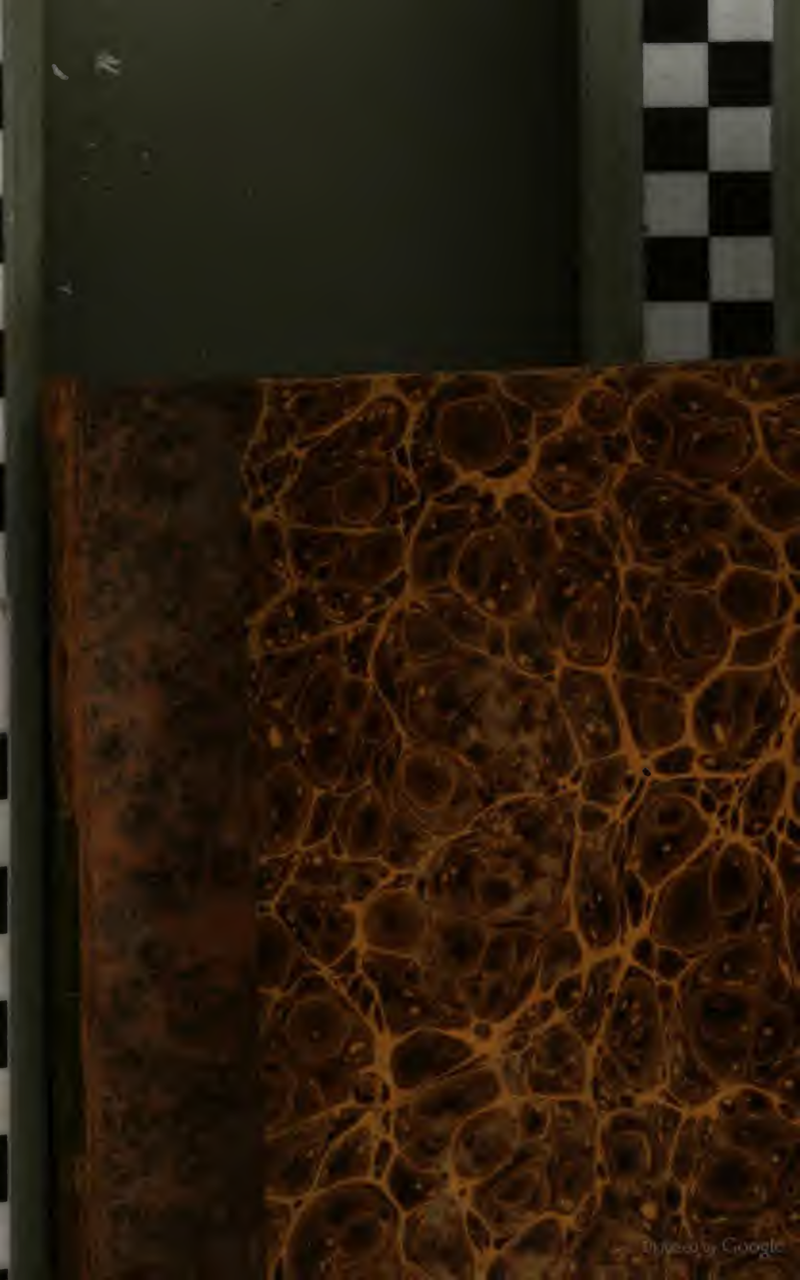



BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

ANNALES
DES MINES,

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES
ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RAPPORTENT;

RÉDIGÉES

Par les Ingénieurs des Mines,

ET PUBLIÉES

Sous l'autorisation du Conseiller d'État, Directeur général des Ponts et Chaussées et des Mines.

TROISIÈME SÉRIE.

TOME XII.

PARIS,
CHEZ CARILIAN-GŒURY, ÉDITEUR-LIBRAIRE,
QUAI DES AUGUSTINS, N° 41.

1837.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les *Annales des Mines* sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Directeur général. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, de l'inspecteur des études et des professeurs de l'Ecole des mines, du chef de la division des mines, d'un ingénieur secrétaire, et d'un ingénieur secrétaire-adjoint.

MM.

Cordier, inspecteur général, membre de l'Académie des sciences, président.

Brochant de Villiers, inspecteur général, membre de l'Acad. des sciences.

De Bonnard, inspecteur général.

Héricart de Thury, inspect. génér.

Migneron, inspecteur général.

Berthier, inspecteur général, membre de l'Académie des sciences, profess. de chimie.

Lefroy, inspect. génér. adjoint.

Voltz, inspect. génér, adjoint.

Guenyveau, ingénieur en chef, professeur de métallurgie.

Garnier, ingénieur en chef, secrétaire du conseil général.

MM.

Dufrénoy, ingénieur en chef, inspect. des études de l'École des mines, profess. de minéralogie.

Élie de Beaumont, ingén. en chef, membre de l'Académie des sciences, profess. de géologie.

Combes, ingénieur en chef, prof. d'exploitation des mines.

De Cheppe, chef de la division des mines.

Le Play, ingénieur, secrétaire de la commission de statistique de l'industrie minérale, secrétaire de la commission.

De Boureuille, ingénieur, secrétaire-adjoint de la commission.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des *Annales des Mines*, pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert* de M. le directeur général des ponts et chaussées et des mines, à *M. le secrétaire de la commission des Annales des Mines*, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 10 exemplaires de leurs articles. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 10 fr. par feuille pour le premier cent, et de 5 fr. pour les suivants.

La publication des *Annales des Mines* a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois — Les trois livraisons d'un même semestre forment un volume. — Les deux volumes composant une année contiennent de 60 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE ET FONDERIE DE FAIN,
RUE RACINE, N° 4, PLACE DE L'ODÉON.

EXPÉRIENCES

Sur les roues hydrauliques à aubes planes et à augets ;

Par A. MORIN, capitaine d'artillerie, professeur de machines à l'École d'application de l'artillerie et du génie.

(Extrait par M. Eug. LEFÉBURE DE FOURCY, Ingénieur des mines.)

En 1830, M. Morin, capitaine d'artillerie, professeur à l'École d'application de Metz, publia, dans le 3e numéro du *Mémorial de l'artillerie*, les résultats de ses expériences sur trois roues hydrauliques, situées: la première, dans la filature de MM. N. Schlumberger et compagnie, à Guebwiller; la seconde, dans la fonderie de canons de Toulouse; la troisième, dans la manufacture d'armes de Châtellerault. Un extrait de ce mémoire fut publié dans les *Annales des mines*, 3e série, tome III, pag. 93 et 259. A cette époque, on ne possédait encore sur les résistances dues au frottement, que les expériences de Coulomb, et M. Morin dut employer dans ses formules les coefficients admis jusqu'alors. Depuis, il entreprit sur cet objet intéressant une série d'expériences aussi délicates qu'ingénieuses, et fut, par suite, conduit à modifier les coefficients de Coulomb(1). A l'aide de ces nouvelles données, M. Morin a

(1) Académie des sciences, Recueil des savants étrangers. Chez Bachelier, libraire, à Paris.

refait les calculs auxquels donnaient lieu ses premières expériences, et, dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences (1), il a joint aux résultats de ses expériences sur six nouvelles roues hydrauliques, les résultats modifiés que lui ont fournis les trois premières.

Cet extrait est destiné à donner une idée de cet important travail; nous y suivrons fidèlement la division adoptée par l'auteur.

FREIN A ANNEAU MOBILE.

Ce frein, dont les dispositions principales sont empruntées à M. Egen, ingénieur allemand, est représenté (*Pl. I, fig.* 1 et 2). Il se compose d'un collier annulaire A en fonte, formé de deux parties qui s'assemblent en *b, b* par des oreilles, avec boulons et écrous. Le diamètre intérieur de ce collier est de $0^m,80$; sa largeur, parallèlement à l'axe, est de $0^m,16$; il doit avoir $0^m,03$ au moins d'épaisseur. De chaque côté, il est renforcé par un rebord *a a* de $0^m,03$ de saillie, destiné à contenir les pièces frottantes. Ce collier se monte sur l'arbre tournant au moyen de six grandes vis à tête carrée *c,c*, disposées symétriquement, en dehors des rebords *a a*, dans des oreilles *d,d* qui leur servent d'écrous. En les manœuvrant convenablement, on parvient à centrer le collier et à obtenir ainsi une surface exactement concentrique à l'arbre tournant.

(1) Expériences sur les roues hydrauliques à aubes planes et sur les roues hydrauliques à augets. Chez Carilian-Gœury et chez Mathias, à Paris; chez madame Thiel, à Metz.

Pour établir cet appareil sur des arbres en fonte ou en fer, on doit y monter préalablement un manchon en bois d'une dimension convenable.

Afin d'empêcher les vis de se fausser ou de sillonner la surface de l'arbre tournant, il faut, après avoir centré le collier, caler fortement ce dernier sur l'arbre, à l'aide de coins frappés peu à peu et tour à tour. Trois ou quatre paires de coins convenablement serrés suffisent pour obtenir toute la solidité désirable.

Le collier ainsi monté est entouré d'une bande de frottement à articulations, composée de huit plaques de tôle, de $0^m,005$ d'épaisseur sur $0^m,10$ de largeur, réunies à charnière par des boulons de $0^m,005$ à $0^m,006$ de diamètre, et cintrées suivant un rayon de courbure un peu plus grand que celui du collier, afin que les angles des articulations puissent recevoir la graisse et les corps étrangers qui s'introduisent entre les surfaces frottantes. La chaîne articulée se termine par deux demi-mailles renforcées à leur extrémité et formant les femelles d'une charnière propre à recevoir les têtes plates et percées de deux gros boulons *e*,*e*, de $0^m,60$ de longueur et de $0^m,003$ de diamètre, auxquelles elles sont réunies par de petits boulons de $0^m,015$ de diamètre.

Les boulons *e*, *e* traversent une pièce de sapin qui a de $0^m,15$ à $0^m,20$ d'équarrissage, selon la force du moteur, et qui forme le *bras de levier* du frein. La face inférieure de cette pièce reçoit, par embrèvement, un coussinet en bois dur B, qui repose sur le collier par une partie cylindrique de même rayon que la surface extérieure de celui-ci. Un ou plusieurs trous percés à travers le levier et le coussinet permettent de verser de

l'huile pour lubréfier la surface du collier. A l'extrémité du levier est le plateau F, où l'on place les poids qui forment la *charge* du frein.

Les parties essentielles du frein se composent donc du collier, de la chaîne, des boulons, du coussinet, du plateau et d'une clef pour serrer les écrous. Le tout ne pèse pas plus de 200 à 250 kilogrammes (1).

MARCHE GÉNÉRALE DES CALCULS.

Théorie du frein.

Si P est l'effort transmis à l'arbre sur lequel est monté le frein, et que cet effort agisse à la distance R de l'axe de rotation, une partie de la force P est employée à vaincre le frottement de l'arbre sur ses tourillons; l'autre partie P′ représente l'*effort disponible*, et c'est elle qu'on mesure au moyen du frein.

Soit :

v, la vitesse à la circonférence de rayon R;

S, la force de frottement développée à la surface du collier;

r, le rayon de cette surface.

Puisque l'effort disponible P′ est à chaque instant en équilibre avec la force de frottement S, on a, d'après le principe des vitesses virtuelles:

$$P'v = S\frac{r}{R}v.$$

(1) Un perfectionnement, introduit récemment dans l'emploi du frein, consiste à diriger un filet d'eau dans l'intérieur du collier. En prévenant ainsi l'échauffement de cette pièce, on évite l'effet de la dilatation sur les dimensions des parties frottantes, et par suite sur la constance de la force de frottement qu'elles développent. *N. d. R.*

D'une autre part, puisque le frottement S fait équilibre au poids et à la charge additionnelle du frein, si on nomme :

F, la *charge totale* du frein, c'est-à-dire la somme qu'on obtient en ajoutant à la charge variable du frein la charge due au poids de ce dernier;

L, la distance du point de suspension de cette charge au plan vertical de l'axe de rotation; les moments des forces F et S par rapport à cet axe doivent être égaux, et l'on a :

$$FL = Sr;$$

et par suite :

$$P'v = F\frac{L}{R}v.$$

$\frac{L}{R}v$ est la vitesse que prendrait le point de suspension, si le levier était entraîné dans le mouvement de l'arbre tournant : l'on voit donc, que le produit de la charge totale du frein par la vitesse, que tend à prendre le point de suspension, mesure la quantité de travail disponible transmise à l'arbre sur lequel est monté le collier.

Ainsi, toutes les fois que le frein sera placé sur l'arbre même de la roue, il mesurera directement la quantité de travail *utilisée* par le récepteur, en ayant soin pourtant de tenir compte aussi de la quantité de travail que consomme le frottement de l'arbre sur ses tourillons, et qui est en général fort peu considérable. Quand cette condition ne sera point remplie, il faudra ajouter au travail indiqué par le frein celui qui est consommé en *résistances passives* par les pièces intermédiaires entre l'arbre de la roue et celui du

frein : on verra bientôt comment se calculent ces résistances.

Définition des diverses quantités de travail.

Dans toute machine on peut distinguer :

[1] Le travail absolu du moteur, c'est-à-dire, dans le cas d'une roue hydraulique, le produit du poids de l'eau écoulée par la hauteur totale de la chute ;

[2] La quantité de travail disponible mesurée par le frein ;

[3] La quantité de travail consommée par les résistances passives ;

[4] La quantité de travail totale transmise au récepteur, laquelle n'est autre chose que la somme de [2] et de [3], et qu'on nomme aussi *effet utile total*;

[5] Le travail théorique déduit des formules connues de la mécanique.

Le rapport de [4] à [5] est évidemment le coefficient de correction de la formule théorique.

Formule du travail théorique.

Dans le cas des roues que nous aurons à considérer, le travail théorique est donné par la formule :

$$1000\,Qh + \frac{1000\,Q}{g}(V\cos\gamma - v)v,$$

dans laquelle on représente par :

Q, le volume d'eau écoulée par seconde, exprimé en mètres cubes (1);

h, la hauteur du point de rencontre du filet d'eau moyen avec la circonférence extérieure de la roue, au-dessus du point inférieur de cette roue ;

(1) On indiquera soigneusement, pour chacune des roues qu'on va décrire, la manière de déterminer exactement ce volume.

V, la vitesse d'affluence de l'eau ;

γ, l'angle que cette vitesse forme avec la circonférence (1) ;

Et v, la vitesse de la roue.

Les résistances passives dont on a besoin d'apprécier l'influence sont le plus ordinairement de deux sortes : elles proviennent, soit du frottement des tourillons d'un axe sur ses coussinets, soit du frottement des dents d'un engrenage.

Calcul des résistances passives.

Dans le cas d'un axe frottant sur ses coussinets, si on nomme :

q, la pression exercée sur les coussinets ;

f, le rapport du frottement à la pression, rapport qui varie avec la nature des corps frottants (2) ;

ρ, le rayon du tourillon ;

l'effort qu'il faut exercer à la circonférence R de la roue pour vaincre le frottement de l'arbre sur ses coussinets a pour expression :

$$(a) \qquad fq\frac{\rho}{R}.$$

Dans le cas d'un engrenage, si on nomme :

φ, la résistance appliquée à la circonférence de la roue menée ;

---

(1) Pour les roues de côté, l'eau frappe ordinairement la roue tangentiellement, et γ devenant nul, la formule se réduit à :

$$1000\,Qh + \frac{1000\,Q}{g}(V - v)v.$$

(2) Il résulte des nouvelles expériences de M. Morin que la valeur de f est de 0,08 pour les axes en fer sur coussinets en bronze ou en cuivre, avec enduit de saindoux ou d'huile.

f, le rapport du frottement à la pression (1) ;

$\pi = 3{,}14$, le rapport de la circonférence au diamètre ;

m et m' le nombre de dents des deux roues ; l'effort moyen qu'il faut exercer à la circonférence de la roue menante pour vaincre le frottement de l'engrenage, a pour expression :

$$(b) \qquad \varphi f \pi \frac{m + m'}{mm'}.$$

(1) M. Morin a trouvé que la valeur de f est de :

0,07 pour des dents en fonte frottant sur des dents en bois avec enduit de suif ;

0,08 pour des dents en fonte frottant sur des dents en fonte.

EXPÉRIENCES SUR LES ROUES A AUBES PLANES.

Roue à aubes planes de la fonderie de Toulouse.

Cette roue, représentée (*fig.* 3), possède quelques-unes des propriétés des roues de côté; l'intervalle entre les aubes est à moitié fermé par un fond, et elle reçoit l'eau à $0^m,50$ au-dessus de son point inférieur, de sorte que le liquide y agit d'abord par son choc, puis par son poids. Description.

La vanne est inclinée à 34° 30′ sur la verticale. L'eau qui s'écoule de l'orifice suit un plan incliné de 9° 25′, et long de $0^m,78$. A partir de l'extrémité de ce plan, un coursier concentrique à la roue l'emboîte exactement. Le diamètre extérieur de la roue est de 6 mètres. Elle porte 36 aubes, dirigées suivant le prolongement des rayons, et ayant $0^m,50$ de largeur sur $1^m,60$ de longueur parallèle à l'axe de la roue.

Le frein dynamométrique était placé sur l'arbre même de la roue hydraulique.

Les résistances passives, dues aux communications de mouvement, se réduisaient ici à des frottements d'axes sur leurs coussinets et à des frottements d'engrenages. Au moyen des formules (*a*) et (*b*), (pages 9 et 10), et en remontant de proche en proche, depuis la roue la plus éloignée jusqu'à la roue d'engrenage montée sur l'arbre même de la roue hydraulique, on a pu remplacer la résistance totale due aux frottements des diverses pièces de l'appareil par Calcul de l'effet utile total.

un effort exercé à la circonférence de cette roue d'engrenage; et cet effort, rapporté au crochet de suspension du frein, s'est ainsi trouvé transformé en une augmentation constante de la charge de ce frein.

Enfin, la pression développée sur les coussinets de l'arbre de la roue hydraulique est due :

1° au poids M de l'arbre, de la roue, de l'engrenage, etc.;

2° à la charge totale F du frein, qui agit verticalement comme le poids M auquel elle s'ajoute;

3° à l'effort horizontal P transmis par l'eau à la circonférence extérieure des aubes.

La résultante de la pression verticale $(M+F)$ et de l'effort horizontal P est égale à :

$$\sqrt{(M+F)^2+P^2};$$

et comme $(M+F)$ est très-grand par rapport à P, elle peut être exprimée rationnellement, à $\frac{1}{25}$ près, par la valeur (1) :

$$0{,}96(M+F)+0{,}4P;$$

et le frottement qu'elle produit sur les tourillons est alors égal à :

$$0{,}96f(M+F)+0{,}4fP.$$

Cela posé, il doit y avoir équilibre, autour de l'arbre, entre l'effort P d'une part, et entre la charge F du frein et le frottement des tourillons de l'autre. Si donc on appelle :

L, le bras de levier du frein;

---

(1) Cours de mécanique appliquée, de M. Poncelet, note première de la 3[e] section; éditions lithographiées de 1828 et de 1833.

ρ, le rayon des tourillons;
R, le rayon de la circonférence de la roue;
on aura pour l'équation d'équilibre autour de l'axe :

$$PR = FL + 0,96f(M + F)\rho + 0,4fP\rho;$$

d'où l'on tire pour P une expression de la forme :

$$P = aF + b,$$

a et b étant deux nombres constants.

Il ne s'agira plus, pour connaître la valeur de l'effort P exercé par l'eau à la circonférence de la roue, que de substituer dans cette formule la valeur de F relative à chaque expérience. En la multipliant par la vitesse v de la circonférence de la roue, le produit Pv représentera l'effet utile total ou la quantité de travail transmise à la roue. Quant au travail théorique, il est aisé de le calculer au moyen de la formule : Calcul du travail théorique.

$$1000\,Qh + \frac{1000\,Q}{g}(V - v)v.$$

La largeur de l'orifice est de $1^m,55$; il est disposé de manière qu'il n'y ait de contraction ni sur le fond, ni sur les côtés : comme la vanne est inclinée à 34° 30′, il faut, d'après les expériences de M. Poncelet (1), prendre 0,75 pour le coefficient de la dépense.

Le niveau de l'eau était tenu constant pendant les expériences, et rapporté à un repère fixe. On a pris pour chute totale la hauteur de ce niveau au-dessus du point inférieur de la roue, lequel correspond au niveau d'aval.

(1) Mémoires sur les roues à aubes courbes, 2e édition.

La vitesse V de l'eau affluente a été calculée, en ajoutant la pente $0^m,128$ du plan incliné à la charge sur le centre de l'orifice, et en regardant cette somme comme la valeur de H dans la formule connue $V = \sqrt{2gH}$. Le coursier était assez court pour qu'on pût négliger l'influence de la résistance de ses parois.

En comparant la valeur fournie par la formule théorique avec le produit Pv, obtenu comme il est dit ci-dessus (page 13), on aura le rapport de l'effet utile total à l'effet théorique, ou le coefficient de correction de la formule théorique.

Résultats des expériences. Les expériences de M. Morin l'ont conduit aux conséquences suivantes :

1° La roue fonctionne d'une manière beaucoup plus avantageuse, quand la dépense d'eau est faible, que lorsqu'elle est considérable. En effet, tant que le rapport de la vitesse V de l'eau à la vitesse v de la roue ne dépasse pas 0,63, la valeur moyenne du coefficient de correction de la formule théorique est de 0,74, et celle du rapport du travail disponible au travail absolu du moteur de 0,41. Dans ce cas, la levée de vanne n'excède pas $0,^m10$, et les augets reçoivent un volume d'eau égal au plus aux 0,28 de leur capacité totale.

Il paraît d'ailleurs que le rapport le plus convenable des vitesses v et V serait celui de 0,40 à 0,45. Avec des levées de vanne de $0^m,15$ à $0^m,30$, les rapports de ces vitesses étaient compris entre 0,50 et 0,80; le coefficient de correction de la formule théorique descendait à 0,60, et le rapport du travail disponible au travail absolu du moteur à 0,33.

L'on augmenterait l'effet utile de la roue, d'une

part, en supprimant le fond des aubes contre lequel se produit un choc nuisible, et de l'autre, en leur donnant plus de largeur dans le sens du rayon, afin de profiter d'une partie de la force vive considérable que l'eau conserve encore à sa sortie de la roue.

Roue à aubes planes de la sécherie artificielle de la poudrerie de Metz.

Cette roue, représentée (*fig.* 4), est employée à faire marcher un ventilateur. Elle est exactement emboîtée dans son coursier. Elle est construite en bois. La vanne a une largeur de $0^m,76$; elle est verticale et située à une petite distance en amont. Le seuil de l'orifice se raccorde par un plan horizontal et un arc de cercle avec le fond du coursier circulaire ; à $0^m,80$, en aval de l'axe de la roue, un ressaut de $0^m,10$ facilite le dégagement de l'eau. Le diamètre de la roue est de $3^m,96$. Le nombre des aubes est de 24; leur écartement à la circonférence extérieure, de $0^m,518$, leur largeur dans le sens du noyau, de $0^m,30$. Description.

La roue pouvait s'isoler entièrement des autres parties de l'usine. Calcul de l'effet utile total.

Pour déterminer la quantité de travail totale transmise à la circonférence de cette roue, il suffisait donc d'ajouter à la quantité de travail disponible mesurée directement par le frein celle qui était consommée par le frottement des tourillons, et qui se détermine facilement, comme on l'a vu (page 12).

Pour calculer l'effet théorique, il était nécessaire de déterminer la valeur V : c'est ce qu'on a fait de la manière suivante : Calcul de l'effet théorique.

En nommant U la vitesse moyenne dans une section de la veine située en aval de l'orifice, à une distance égale à une fois et demie la hauteur de cet orifice, on a, d'après Dubuat, l'expression :

$$U = \sqrt{\frac{2gH}{1+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2}}.$$

dans laquelle H représente la charge sur le centre de l'orifice, et m (1) le coefficient de contraction particulier à chaque levée.

En nommant A′ l'aire du profil de la veine à l'endroit où la vitesse moyenne est U, on aura, si Q représente la dépense d'eau, la relation

$$A'U = Q = mA\sqrt{2gH}$$

dans laquelle A est l'aire de l'orifice.

Donc $$A' = mA\sqrt{1+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2}$$

D'ailleurs la base du rectangle A′ est égale à la largeur du coursier; on en connaît donc la hauteur au moyen de l'expression précédente. On peut dès lors fixer la position du filet moyen de la lame d'eau, et, comme la lame suit ensuite la direction du coursier, déterminer le point de rencontre de ce filet moyen avec la circonférence extérieure de la roue. La distance de ce point au-dessous du centre de la section A′ étant ajoutée à la hauteur de chute prise

(1) Pour les diverses levées de vanne on a pris, comme valeurs correspondantes de m, les nombres suivants :

Levées de vanne $= 0^m,050 - 0^m,100 - 0^m,150 - 0^m,200 - 0^m,250$
Valeurs de $m = 0,646 - 0,646 - 0,631 - 0,572 - 0,572.$

au-dessus de ce même centre, on obtient la valeur de la hauteur totale génératrice de la vitesse V, et par suite cette vitesse même.

Le point de rencontre du filet moyen avec la roue étant déterminé, sa hauteur *h* au-dessus du fond du coursier l'est aussi.

En écartant le cas des vitesses de roue supérieures aux vitesses de l'eau affluente, et celui des vitesses de roue inférieures aux 0,25 de celle de l'eau (1), il résulte des expériences de M. Morin que le rapport moyen de l'effet théorique est égal à 0^{m},74. Résultats des expériences.

Quant au rapport du travail disponible au travail absolu du moteur, il est constant et voisin de son maximum, lorsque le rapport V de la vitesse de la roue à celle de l'eau affluente reste compris entre 0,60 et 0,70. Il atteint 0,46 pour des levées de vanne comprises entre 0,20 et 0,30 avec une charge d'eau de 0^{m},33.

Roue de côté de la manufacture d'armes de Châtellerault.

Les expériences faites à Châtellerault ont été exécutées en 1828, et les résultats en sont insérés par extrait dans le tome III des *Annales des mines* (3e série, page 276).

Il y a lieu d'y apporter quelques corrections

(1) Ce dernier cas répond à celui où l'eau de la roue, par suite de sa plus grande vitesse, dépasse le côté intérieur de la palette et commence à se déverser dans l'intervalle inférieur ; s'il y avait eu un fond aux aubes de la roue, le déversement dont nous parlons eût été remplacé par un choc contre ce fond.

par suite des nouvelles expériences de M. Morin sur le frottement.

Description. La roue en fonte, avec aubes et fond en bois (*fig.* 5) est emboîtée dans un coursier circulaire en fonte et entre deux bajoyers en pierre de taille.

L'orifice d'écoulement est pratiqué dans une paroi inclinée à 40°. La charge d'eau est habituellement faible. La vanne à sa partie supérieure est épaisse de $0^m,35$ et y est arrondie de manière à diriger les filets fluides presque horizontalement : ce qui annulle à peu près la contraction sur ce côté. D'ailleurs les deux côtés verticaux de l'orifice sont dans le prolongement des parois du canal. La contraction n'a donc lieu que sur le côté supérieur, et, le vannage étant incliné à 40°, il convient, d'après les expériences de M. Poncelet (1), d'assigner au coefficient de correction la valeur 0,75.

Calcul de l'effet utile total. L'arbre de la roue hydraulique porte une roue d'engrenage qui transmet le mouvement à un arbre à cames. C'est sur ce dernier que le frein a été placé.

En calculant le travail dû aux résistances passives, on trouve pour la valeur de l'effort P exercé par l'eau à la circonférence extérieure de la roue, une expression de la forme

$$P = aF + b.$$

a et b étant deux nombres constants, et F la charge totale du frein.

Calcul de l'effet théorique. Quant à la formule théorique, elle se calcule au moyen des éléments suivants :

$$Q = 0,75 A \sin 40^\circ \sqrt{2gH}$$

(1) Mémoires sur les roues à aubes courbes, 2e édit.

dans laquelle A représente l'aire de l'orifice, H la hauteur d'eau au-dessus du centre de cet orifice.

On a pris pour la vitesse V de l'eau affluente à la circonférence extérieure de la roue, celle qui correspond à la hauteur du côté inférieur de l'orifice. La direction de cette vitesse fait moyennement un angle de 35° avec la circonférence de la roue.

Enfin h est égal à la hauteur du seuil de l'orifice au-dessus du niveau d'aval.

De la comparaison de l'effet utile total trouvé par expérience et de l'effet théorique, il résulte que le rapport des deux effets est approximativement de 0,75. **Résultats des expériences.**

Quand la hauteur de h est grande par rapport à la hauteur génératrice de V, la vitesse v de la roue peut varier sans inconvénient dans des limites assez étendues. Ainsi, dans les roues de ce genre, on peut porter la vitesse jusqu'à 2^m par minute. Toutefois, c'est aux valeurs de $\frac{v}{V}$ comprises entre 0,40 et 0,67 que correspond le maximum d'effet. Cette faible influence de la vitesse de la roue tient à ce que, dans la formule théorique (page 8), quand h est considérable, le terme $1000Qh$ est grand lui-même relativement au terme $\frac{1000Q}{g}(V\cos\gamma - v)$.

Quant au rapport du travail disponible au travail absolu du moteur, il n'est que de 0,47 ; parce que les résistances passives ont ici absorbé une quantité de travail considérable, tandis qu'il eût atteint 0,60 au moins, si le frein eût pu être placé sur l'arbre même de la roue hydraulique.

Il y a donc un avantage manifeste à prendre l'eau à la surface du réservoir d'amont.

Roue à aubes planes de la taillerie de la cristallerie de Baccarat (Meurthe).

Description.

Cette roue représentée (*fig.* 6) est emboîtée dans un coursier circulaire en pierre de taille; l'arbre est en fonte, ainsi que les bras et les couronnes dans lesquelles sont assemblés les bracons des aubes. Le rayon de la roue est de $2^{m},03$; sa largeur, égale à celle de la vanne, est de $3^{m},90$. Le nombre des aubes est de 32; leur capacité de $0^{m.c.},493$ environ.

La vanne s'abaisse pour laisser passer l'eau, comme par un déversoir. La chute totale a varié pendant les expériences de $2^{m},008$ à $2^{m},079$.

Calcul de l'effet utile total.

En tenant compte des résistances passives dues au frottement des engrenages et des tourillons, on trouve, pour la valeur de l'effort exercé à la circonférence extérieure de la roue, une expression de la forme

$$P = aF + b,$$

dans laquelle F représente la charge totale du frein.

Calcul de l'effet théorique.

La formule de la dépense par un déversoir est

$$Q = mLH\sqrt{2gH}$$

dans laquelle on désigne par

L, la largeur de l'orifice;

H, la hauteur du niveau général du réservoir au-dessus du sommet du déversoir;

m, un coefficient qui, d'après les expériences de MM. Poncelet et Lesbros, prend pour des abaissements de vanne de :

$0^{m},112$ $0^{m},175$ $0^{m},220$ et $0^{m},260$

les valeurs correspondantes,

0,393 0,390 0,385 et 0,385

Pour déterminer la vitesse V d'arrivée de l'eau sur la roue, il a fallu rechercher le point où le filet moyen de la lame d'eau rencontre la circonférence extérieure de la roue. Le tracé de la parabole qu'il décrit a déterminé ce point, et, par suite, la vitesse V, l'angle γ qu'elle forme avec la vitesse v de la circonférence de la roue, et enfin la hauteur h que l'eau parcourt depuis son introduction jusqu'à sa sortie du récepteur.

En laissant toujours de côté les expériences où la vitesse de la roue est plus grande que celle du filet moyen de la veine fluide, ce qui rend négatif le second terme de la formule théorique, on trouve que le rapport de l'effet utile total à l'effet théorique croît avec l'épaisseur de la lame d'eau, depuis 0,750 jusqu'à 0,829. Résultats des expériences.

Il en est à peu près de même du rapport du travail disponible mesuré par le frein au travail absolu dépensé par le moteur. En effet, les valeurs correspondantes de ce second rapport varient de 0,620 à 0,744. Il décroît quand le volume d'eau atteint les $\frac{2}{3}$ de la capacité des augets : une portion de ce fluide est, dans ce cas, projetée en pure perte à l'intérieur de la roue.

De cette observation on conclut qu'il faut disposer les roues dont nous parlons, de manière que l'abaissement de la vanne en déversoir, au-dessous du niveau du réservoir, soit de $0^m,20$ à $0^m,25$.

L'accroissement, que l'augmentation d'épaisseur de la lame d'eau fait prendre au rapport de l'effet

utile total à l'effet théorique, est assez faible pour qu'on puisse adopter la valeur moyenne 0,788 de ce rapport, comme coefficient de la formule théorique. Le résultat des expériences précédentes est alors représenté par la formule pratique

$$Pv = 0{,}788\left(1000\,Qh + \frac{1000Q}{g}(V\cos\gamma - v)v\right).$$

Le rapport $\frac{v}{V\cos\gamma}$ a varié dans les expériences depuis 0,47 jusqu'à 1, et v depuis 0,48 jusqu'à 1,80, sans que ni l'effet utile total ni le travail disponible aient eux-mêmes notablement varié. La roue que nous décrivons peut donc marcher à des vitesses très-différentes, sans que son effet utile s'éloigne de sa valeur maximum. Cette circonstance tient, comme pour la roue précédente, à ce que h est très-grand, et par suite l'influence du second terme de la formule très-faible, par rapport à celle du premier. Il est d'ailleurs avantageux de faire marcher ces roues assez vite, parce que l'on diminue ainsi les fuites ou pertes d'eau; que l'on a besoin de moins d'engrenages pour transmettre la vitesse convenable aux outils; mais surtout parce qu'en tournant vite la roue peut admettre un volume d'eau considérable sans que les augets soient trop remplis. Cette dernière condition est importante à satisfaire, sinon une portion de liquide est projetée dans l'intérieur de la roue, et perdue pour l'effet utile. Aussi convient-il que la vitesse, la largeur de la roue et la capacité des augets soient tellement proportionnées, que le volume d'eau qui doit y être introduit ne dépasse jamais les 0,50 de cette capacité.

En définitive, cette roue transmettant au second arbre de couche, et déduction faite de toutes les résistances passives, une quantité de travail qui, pour les forts abaissements de vanne, n'est pas au-dessous de 0,75 du travail absolu du moteur, on voit qu'elle est d'un emploi fort avantageux, et peut être regardée comme l'une des mieux construites en ce genre.

Roue à aubes planes de l'atelier des meules à Baccarat.

Cette roue représentée (*fig.* 7) est récemment construite; elle fait mouvoir une paire de meules employée à pulvériser les matières, et des tours à tailler les cristaux. Elle se compose de deux joues en bois, dans lesquelles s'assemblent les aubes et le fond. Description.

Un cercle d'engrenage, monté sur l'une des joues, communique le mouvement à l'arbre de couche sur lequel le frein était placé. La roue a 40 aubes, espacées de $0^{m},384$; la capacité de chaque auget est de $0^{m.c.},192$.

Le vannage incliné forme un angle de 71° avec l'horizontale. Le fond du canal d'arrivée est en pierre de taille, ainsi que ses parois verticales. Les trois côtés de l'orifice sont dans le prolongement de ces parois, de sorte qu'il n'y a de contraction que sur le côté supérieur. Dans l'état habituel, la charge d'eau est de $0^{m},36$ à $0^{m},40$ sur ce côté supérieur, et, d'après sa disposition, le coefficient de la dépense théorique doit être pris égal à 0,70.

La vanne pouvant, à volonté, être disposée de manière que l'orifice devînt un déversoir, on a

profité de cette facilité pour faire deux séries distinctes d'expériences.

I.

Calcul de l'effet utile total.

En tenant compte des résistances passives, on trouve, pour la valeur de l'effort P exercé par l'eau à la circonférence extérieure de la roue, une expression de la forme

$$P = aF + b.$$

Calcul de l'effet théorique.

La dépense d'eau est donnée par la formule

$$Q = 0{,}70\,A \sin. 71^\circ \sqrt{2gH},$$

dont la notation est connue (page 20).

En observant la hauteur générale du niveau du canal d'arrivée au-dessus du seuil de l'orifice, il était facile d'obtenir la vitesse de sortie du filet moyen de la veine fluide, et par suite la vitesse V de l'eau au point de rencontre de ce filet avec la roue, ainsi que l'angle γ de cette vitesse avec la tangente à cette roue; la valeur de h était égale à la hauteur du point de rencontre du filet moyen avec la roue, au-dessus du point inférieur du coursier.

Résultats des expériences.

En laissant de côté les expériences où l'eau rejaillissait fortement à l'intérieur de la roue par l'ouverture laissée entre les aubes pour le passage de l'air, on trouve que, même dans les cas où la vitesse de la circonférence extérieure de la roue est plus grande que celle de l'eau, ce qui rend négatif le second terme de la formule théorique, le rapport de l'effet utile total à l'effet théorique ne varie que de 0,804 à 0,796.

Quant au rapport du travail disponible au travail absolu du moteur, sa valeur varie de 0,551 à 0,467, c'est-à-dire qu'il diminue à mesure que la

dépense d'eau augmente : ce qui tient sans doute à ce que les augets reçoivent un plus grand volume de liquide, et que les chocs contre le fond de la roue et les aubes sont par suite d'autant plus violents.

On doit observer aussi que ce rapport est inférieur à celui qu'on a trouvé pour la roue de la taillerie, où l'eau est reçue par une vanne en déversoir. Et c'est ce qu'on va remarquer encore dans les expériences faites sur la roue que nous considérons, quand l'orifice y était disposé en déversoir.

Il convient donc encore pour cette roue, comme pour la précédente, d'en proportionner la vitesse à la capacité des augets, de telle sorte que ces derniers ne soient jamais qu'à moitié remplis.

De la valeur moyenne 0,792 du rapport de l'effet utile total à l'effet théorique, il suit que les résultats des expériences peuvent être représentés par la formule pratique

$$Pv = 0{,}792\left(1000Qh + \frac{1000\,Q}{g}(V\cos\gamma - v)v\right).$$

La vitesse v de la circonférence extérieure de la roue a varié depuis le double de celle de l'eau décomposée suivant la tangente à cette circonférence, jusqu'à 0,37 de cette même composante, sans que le rapport de l'effet utile total à l'effet théorique ait sensiblement changé. La formule ci-dessus représente donc les résultats de l'expérience entre des limites fort étendues.

II.

Dans le cas où l'orifice est disposé en déversoir, la formule théorique se calcule de la même manière, mais la valeur de la dépense varie. Comme Calcul de l'effet théorique.

l'orifice était raccordé avec le canal d'arrivée par un avant-radier et des bajoyers en maçonnerie, et que, d'après les expériences de MM. Poncelet et Lesbros, cette circonstance altère notablement la dépense, on a eu recours à un autre mode de jaugeage. En amont du vannage, et à l'origine du canal particulier de prise d'eau, se trouve une large vanne verticale qui sert à en régler l'alimentation. C'est en observant les dimensions de son orifice et la charge d'eau sur son seuil en amont et en aval, qu'a été calculée la dépense d'eau par seconde. On a pu alors employer pour ce calcul la formule

$$0,70\,LO\sqrt{2g(H-H')}$$

dans laquelle :

L est la largeur de l'orifice ;

O, la levée de vanne;

H—H', la différence de niveau de l'eau en amont et en aval de l'orifice ;

0,70, le coefficient de la dépense, attendu qu'il n'y a de contraction ni sur le fond ni sur les côtés de cet orifice.

Résultats des expériences. En laissant de côté, d'une part, les expériences où la vitesse de la roue était plus grande que celle de l'eau ; de l'autre, celles où l'eau jaillissait violemment dans l'intérieur de la roue, on trouve que le rapport de l'effet utile total à l'effet théorique a pour valeur moyenne 0,809, et le rapport du travail disponible au travail absolu du moteur, 0,679. Ce dernier rapport est donc moindre que pour la grande roue de la taillerie marchant dans les mêmes circonstances. Ce qui tient à ce que, dans le cas des petites vitesses, l'eau rejaillit à l'intérieur, et que dans le cas des grandes

vitesses les palettes choquent l'eau en sens contraire de leur mouvement : or, la petitesse des augets, par rapport au volume d'eau dépensé, ne permettait pas d'éviter l'un de ces inconvénients sans tomber dans l'autre.

Toutefois, la même roue, fonctionnant avec un orifice sur le sommet duquel il y avait une faible charge d'eau, n'avait donné, pour la valeur du même rapport, que 0,55 dans le cas le plus favorable. Il convient donc pour ces roues d'employer les vannes en déversoir.

En effet, en examinant la formule théorique, on voit que le terme $1000Qh$, qui constitue principalement l'effet utile, est d'autant plus grand, que l'on prend l'eau plus près du niveau supérieur.

CONCLUSIONS.

Formules pratiques pour les roues à orifice noyé. Le rapport de l'effet utile total à l'effet théorique est :

Pour la roue de la fonderie de Toulouse. 0,74
Pour la roue de la sécherie artificielle de la poudrerie de Metz 0,74
Pour la roue du martinet de la manufacture d'armes de Châtellerault. 0,75
Pour la roue de l'atelier des meules de Baccarat. 0,79

La valeur moyenne générale est de. . . 0,755

L'effet utile total peut donc être représenté par la formule pratique :

$$Pv = 0{,}755\left(1000Qh + \frac{1000Q}{g}(V\cos\gamma - v)v\right).$$

Formule pratique pour les roues à orifice en déversoir. Le rapport de l'effet utile total à l'effet théorique, est :

Pour la roue de la taillerie de Baccarat. 0,788
Pour la roue de l'atelier des meules. . . 0,809

La valeur moyenne générale est de. . . 0,799
d'où résulte la formule :

$$Pv = 0{,}799\left(1000Qh + \frac{1000Q}{g}(V\cos\gamma - v)v\right).$$

Il convient donc de disposer l'orifice en déversoir; mais cet avantage est rendu encore plus évident par la comparaison du rapport du travail disponible, directement mesuré par le frein, au travail absolu du moteur. En effet, ce rapport, qui est de 0,40 quand la charge sur le seuil est les $\frac{1}{3}$ ou les $\frac{1}{4}$ de la chute totale, s'élève graduellement à mesure que cette proportion diminue, devient 0,55 quand elle n'est que de $\frac{1}{4}$, et atteint enfin 0,75 lorsque la vanne est en déversoir, et que les épaisseurs de lame d'eau sont de $0^m,20$ à $0^m,25$. Les roues avec vannes en déversoir ont en outre l'avantage de pouvoir marcher à des vitesses assez grandes et très-différentes entre elles, sans que l'effet utile total s'éloigne notablement de son maximum.

L'auteur du mémoire arrive ainsi aux *règles pratiques* suivantes :

1° La vanne doit toujours être disposée en déversoir, et s'abaisser au-dessous du niveau général du réservoir de $0^m,20$ à $0^m,25$.

2° La vitesse de la roue peut alors sans inconvénient atteindre $1^m,50$, $1^m,80$, et même 2^m par seconde, selon l'abaissement de la vanne.

3° L'espace compris entre les aubes doit être le double du volume de l'eau , ce qui détermine la largeur de la roue parallèlement à l'axe.

4° La proportion et le nombre des aubes sont déterminés par la condition que leur écartement à la circonférence extérieure, et leur profondeur dans le sens du rayon, soient compris entre $0^m,30$ et $0^m,40$, la première limite correspondant aux faibles abaissements de vannes jusqu'à $0^m,20$, et la seconde aux plus grands, jusqu'à $0^m,30$.

5° Les aubes doivent être dirigées dans le sens du rayon.

La grandeur du rayon de la roue n'a pas d'influence directe sur l'effet utile. Il suffit qu'il ne soit jamais plus petit que la chute totale.

EXPÉRIENCES SUR LES ROUES HYDRAULIQUES A AUGETS.

Roue hydraulique à augets de la filature de MM. N. Schlumberger et Cᵉ, à Guebwiller (Haut-Rhin).

Description.

Cette roue, de construction anglaise, est entièrement composée de fonte et de fer, et pèse environ 25.000 kilogr. Son diamètre est de $9^m,10$ (*fig.* 8). Sa largeur intérieure de $3^m,155$. Elle porte 96 augets en tôle, espacés à la circonférence extérieure de $0^m,30$, et fixés à deux joues en fonte, de $0^m,30$ de large dans le sens du rayon.

L'eau entre dans la roue à 50° du sommet, au moyen d'une vanne inclinée à 40° avec la verticale. En s'abaissant, la vanne démasque un orifice garni de cloisons, dirigeant l'eau dans les augets, dont les faces sont à peu près dans le prolongement de ces cloisons. On s'est proposé par-là d'éviter le choc de l'eau contre ces faces. Pour que ce but fût entièrement rempli, il faudrait que la direction de la paroi de l'auget fût celle que prend la résultante de la vitesse de l'eau et de la vitesse de la roue prise en sens contraire. Mais comme l'angle formé par cette résultante et le prolongement des cloisons est assez petit, le choc de l'eau est faible, et il y a peu de rejaillissement.

La chute totale varie entre $7^m,70$ et $7^m,80$.

La force de la machine était estimée à 55 chevaux (55 fois 75 kilogr. élevés à 1 mètre en une seconde).

Calcul de l'effet utile total.

La roue hydraulique est munie intérieurement d'un cercle denté faisant mouvoir un pignon,

dont l'axe porte un second cercle denté, à l'effet de communiquer le mouvement, au moyen de deux autres pignons, d'une part aux broches de la filature, de l'autre aux tours d'un atelier de serruriers mécaniciens. L'axe du second cercle denté reçut un manchon que l'on tourna sur place pour y appliquer le frein : on interrompit les communications des deux pignons avec les ateliers, de manière que le travail utile du moteur fut employé à vaincre, d'un côté le travail résistant dû au frein, de l'autre les divers frottements développés sur les tourillons et sur les engrenages.

En tenant compté de ces diverses résistances on trouve, toutes réductions faites, pour la valeur de l'effort P exercé par le moteur à la circonférence de la roue hydraulique une expression de la forme :

$$P = aF + b + 0{,}002\ K,$$

dans laquelle

F est la charge du frein;

a et b, deux coefficients numériques;

K, le poids de l'eau contenu dans les augets.

Comme le terme 0,002 K est toujours fort petit, on peut le négliger, et la valeur de P se réduit à

$$P = aF + b.$$

La présence des cloisons pouvant apporter dans l'écoulement des modifications qui n'auraient pas permis d'employer les valeurs ordinaires du coefficient de contraction, on a dû recourir à la mesure directe de la dépense. A cet effet, on a jaugé le cours d'eau en en mesurant la section et en en prenant la vitesse à l'aide d'un flotteur léger, immergé dans le plus fort courant et ne dépassant pas la surface. Calcul de l'effet théorique.

Cette vitesse étant de $0^m,454$ par seconde, et par conséquent comprise entre $0^m,40$ et $1^m,30$, on l'a réduite, d'après la règle de M. de Prony, aux $\frac{4}{5}$, pour avoir la vitesse moyenne dans le canal.

Au même instant la vanne démasquait trois orifices. Connaissant les dimensions de ces orifices et la charge d'eau pour chacun d'eux, on a pu calculer la dépense théorique. Le rapport de cette dépense à la dépense effective trouvée au moyen du flotteur était de 0,754. Ce nombre est donc le coefficient de correction qu'il faut employer dans le calcul des dépenses d'eau faites par la vanne (1).

La vitesse d'arrivée du liquide a sensiblement la même direction que celle de la roue. La formule théorique se réduit donc à

$$Pv = 1000\,Qh + \frac{1000\,Q}{g}(V - v)\,v.$$

Pour comparer l'effet théorique de la roue aux résultats de l'expérience, on a considéré le second terme de l'expression théorique comme représentant exactement les effets dus à la variation de la force vive de l'eau, depuis son admission

(1) M. Poncelet a trouvé que le coefficient est de 0,75 lorsque l'eau s'écoule par un orifice, dont trois côtés sont dans le prolongement du fond du réservoir, et n'offrent pas de contraction, l'autre paroi étant inclinée à 1 de base sur 2 de hauteur ; le coefficient est de 0,80 lorsque cette paroi est inclinée à 1 de base sur 1 de hauteur. Ici l'inclinaison de la vanne est de 40° avec la verticale, de sorte qu'elle est comprise entre les deux inclinaisons ci-dessus. Le coefficient trouvé par une mesure directe est en effet compris entre 0,75 et 0,80.

sur la roue jusqu'à sa sortie, et l'on a recherché la correction qu'il fallait apporter au premier terme, pour faire concorder les résultats de la théorie avec ceux de l'expérience. En effet, s'ils diffèrent entre eux, c'est uniquement parce qu'on admet dans la théorie que l'eau reste dans les augets jusqu'au bas de la roue, supposition qui s'éloigne d'autant plus de la vérité, que les augets sont plus remplis.

Dans le cas où les augets ne sont remplis qu'à moitié, la valeur moyenne à donner au coefficient du premier terme de la formule théorique est de 0,78. La formule corrigée devient alors Résultats des expériences.

$$Pv = 780\,Qh + \frac{1000\,Q}{g}(V - v)\,v.$$

Quand les augets sont remplis aux $\frac{2}{3}$ de leur capacité, la roue fonctionne d'une manière moins favorable.

Quand la dépense d'eau est considérable, on peut laisser la roue prendre une grande vitesse, et le volume d'eau introduit dans les augets n'excède pas alors la moitié de leur capacité. Mais, d'une part, l'eau n'est pas admise en totalité dans la roue, et, de l'autre, l'augmentation de la force centrifuge accélère le versement. Ces deux causes tendent donc à diminuer l'effet utile.

L'on doit conclure de ces diverses observations que, pour faire fonctionner une roue à augets d'une manière avantageuse, il ne faut introduire dans les augets qu'un volume d'eau au plus égal à la moitié de leur capacité. En outre, quoique d'après l'influence prépondérante du premier terme de la formule théorique, l'on puisse, sans crainte de diminuer l'effet utile, faire varier le

rapport $\frac{v}{V}$ de 0,25 à 0,80, il ne faudra pas dépasser pour la roue une vitesse de 2 mètres par seconde.

Roue à augets du moulin de Senelles, près Longwy (Moselle).

Description.

Cette roue, représentée (*fig.* 9), a $3^m,425$ de diamètre extérieur, sur une largeur de $2^m,21$, mesure prise entre les couronnes : elle porte 30 augets, dont la capacité est de $0^{m.c.},106$, quand leur bord est sur l'horizontale menée par l'axe de la roue. La face extérieure des augets est légèrement courbe, ce qui retarde un peu le versement.

Calcul de l'effet utile total.

Par suite de la disposition de la machine, les communications de mouvement ont pu être réduites à l'engrenage d'un rouet monté sur l'arbre de la roue hydraulique, avec la lanterne d'un arbre marchant sans charge. L'on peut négliger le travail résistant produit par le mouvement de ce dernier, mais il n'en est pas de même du frottement de l'arbre de la roue sur ses tourillons, et le travail que consomme cette résistance a dû être ajouté à celui que le frein mesurait.

Calcul de l'effet théorique.

L'eau est amenée par un canal en bois qui passe au-dessus de la roue, et y verse l'eau à son sommet au moyen d'une vanne à clapet, ouvrant au fond de ce canal un orifice garni d'une buse inclinée à 30° sur l'horizontale. La vanne recouvre et déborde cet orifice latéralement, de $0^m,04$ à $0^m,05$, et en avant, de $0^m,035$. De chaque côté, pour empêcher l'eau d'arriver à l'orifice,

on a disposé deux rebords verticaux de $0^m,11$; ces rebords emboîtent exactement le clapet. L'orifice démasqué par la vanne est tourné vers l'aval du canal, de sorte que l'eau s'écoule en sens contraire du courant; de plus les deux rebords ne sont pas réunis et raccordés aux parois latérales du canal, et de cette disposition il résulte que la contraction est très-grande au passage de l'orifice; enfin les charges d'eau étant très-faibles, et le côté inférieur de l'orifice se trouvant situé dans le prolongement du fond du canal et continué par une buse formant coursier, l'on sait, par les expériences de MM. Poncelet et Lesbros, que ces circonstances contribuent aussi à diminuer la dépense. Il fallait donc déterminer par quelque moyen direct le volume d'eau écoulé par l'orifice. A l'extrémité du canal se trouvait une vanne de décharge, placée près de l'un des bords, et ayant son seuil dans le prolongement du fond de ce canal. Le clapet étant levé, on observait la hauteur du niveau, puis on le fermait, et on ouvrait graduellement la vanne de décharge jusqu'à ce que, le niveau étant exactement revenu à la même hauteur, on fût certain que le second orifice dépensait autant d'eau que le premier. La dépense de la vanne se calculait aisément, puisque les résultats des expériences de MM. Poncelet et Lesbros en donnent le coefficient dans les circonstances où l'on était placé. En effet, la contraction avait lieu sur le côté supérieur et sur l'un des côtés verticaux, le seuil et l'autre côté vertical étant dans le prolongement des parois du canal; en outre l'orifice était suivi d'un bout de coursier de $0^m,20$ de longueur et horizontal. Il suit de là que, par suite de la présence du

coursier et de la faiblesse de la charge, le coefficient, qui était environ de 0,59 eût été d'abord réduit à 0,58 par la présence du fond du canal dans le prolongement du seuil (1), et qu'ensuite l'une des parois latérales étant disposée de manière à ne point donner de contraction et exerçant une influence à peu près égale à celle du fond, le coefficient se trouvait définitivement réduit à 0,57.

Au moyen de ce coefficient, on a la dépense effective, et en la divisant par la dépense théorique du clapet, on obtient, pour cette dernière, la valeur du coefficient de correction. Deux observations, faites comme il vient d'être dit, ont donné chacune pour ce coefficient, 0,59. La dépense d'eau est donc représentée par la formule :

$$Q = 0{,}59\,A\sqrt{2gH}$$

dans laquelle

A est l'aire de l'orifice;

H, la charge sur le centre de cet orifice.

L'eau étant conduite à la roue par une buse formant coursier, la veine s'épanouit un peu au delà de l'orifice; sa vitesse se rallentit et devient (2)

---

(1) En effet, si la suppression de la contraction sur l'un des côtés de l'orifice, par suite du voisinage d'une des parois du réservoir augmente la dépense dans le cas des fortes charges, elle la diminue, au contraire, dans les petites charges, à cause de l'influence due à la résistance de ces parois.

(2) Cours de mécanique appliquée aux machines, par M. Poncelet, sixième section, n. 74.

$$V = \sqrt{\frac{2gH}{1+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2}} = 0,81\sqrt{2gH}:$$

expression dans laquelle m représente le coefficient de correction de la dépense théorique. Cette vitesse est celle du filet moyen dans le profil, fait à une fois et demie, environ, de la plus petite dimension de la veine, et par suite en un point facile à déterminer. A partir de ce point, le mouvement s'accélère, et en appelant H' la pente de la buse jusqu'à son extrémité, la vitesse du filet moyen en ce point a pour expression

$$u = \sqrt{U^2 + 2gH'}.$$

Enfin, depuis l'extrémité de la buse, le filet moyen sollicité par la pesanteur décrit une parabole, qu'il est facile de tracer par points, puisque l'on a pour son équation

$$y = \frac{g}{2u^2 \cos^2\theta} x^2 + x \tang \theta,$$

dans laquelle :

$\theta = 30°$ est l'inclinaison de la buse sur l'horizontale ;

y, l'ordonnée verticale, et x, l'abscisse horizontale de la courbe à partir du point du filet moyen correspondant à l'extrémité de la buse.

La courbe du filet moyen étant construite, il est facile de trouver son point de rencontre avec la roue, et d'en déduire la vitesse V d'arrivée de l'eau sur la roue.

En effet on a

$$V = \sqrt{u^2 + 2gH''}.$$

H'' étant la hauteur de l'origine de la parabole au-dessus de ce point de rencontre.

En menant par ce point une tangente à la courbe, on détermine l'angle γ; cet angle γ diffère ici fort peu de 36°.

Quant à la hauteur h du point d'introduction de l'eau au-dessus du bas de la roue, elle est ici égale au diamètre même de la roue.

Résultats des expériences.

Pour comparer l'effet utile total à l'effet théorique, on a comme pour la roue de Guebwiller, recherché la valeur du coefficient à appliquer au premier terme de la formule.

Lorsque la vitesse de la roue est plus grande que celle de l'eau, la face de l'auget choque contre la veine fluide, et une partie notable du liquide est projetée. Cet inconvénient diminue avec la vitesse de la roue, et disparaît entièrement dès qu'elle est inférieure à celle de la roue. Lorsque cette condition est satisfaite, les valeurs trouvées pour le coefficient cherché, dans une même série d'expériences, et d'une série à l'autre, offrent entre elles un accord très-remarquable, et conduisent à une valeur moyenne générale de 0,775. La formule devient donc

$$Pv = 775\,Qh + \frac{1000\,Q}{g}(V\cos\gamma - v)v.$$

Le volume d'eau introduit dans chaque auget n'a jamais dépassé la moitié de sa capacité totale. S'il n'en avait pas été ainsi, le versement de l'eau commençant d'autant plus tôt que les augets sont plus remplis, il est évident que le rapport de l'effet utile à l'effet théorique aurait diminué, et que le coefficient de la formule ci-dessus n'atteindrait plus 0,775.

L'angle γ doit être peu considérable, attendu que la composante normale V sin γ de cette vitesse est totalement détruite par la résistance de

la roue, et qu'il résulte de cette circonstance une perte de force vive.

Les variations de la vitesse de la roue ont encore ici, entre certaines limites, peu d'influence sur l'effet utile. En effet, le rapport $\frac{v}{V}$ a varié dans les expériences depuis 0,80 jusqu'à 0,36, et le coefficient de correction du terme $1000Qh$ n'en a pas moins conservé des valeurs à peu près constantes.

La vitesse absolue de la roue ayant dépassé 2,30 sans que la force centrifuge ait exercé sur le versement de l'eau une influence notable, on voit que, pour des roues de dimensions analogues à celles-ci, on peut, sans inconvénient, atteindre cette vitesse, et comme, dans les mêmes circonstances, la vitesse d'arrivée de l'eau était d'environ 3^m, ce qui correspond à une hauteur génératrice de $0^m,46$, il s'ensuit que, dans ces roues, la hauteur du niveau peut aussi, sans inconvénient, s'élever à $0^m,50$ ou $0^m,55$ au-dessus du sommet de la roue ou du point où elle l'atteint, par suite des pertes inévitables de vitesse, depuis l'orifice jusqu'à la roue.

En cherchant le rapport du travail disponible au travail absolu du moteur, on trouve une valeur moyenne de 0,65. Ainsi cette roue, déduction faite des résistances passives, rend en travail disponible les 0,65 du travail absolu du moteur.

Roue à augets de l'aiguiserie de Fleur-Moulin (Moselle).

Cette roue, représentée (*fig.* 10), met en mouvement une aiguiserie pour les pointes dites de Paris. Description.

Elle est en bois, et porte 24 augets en tôle, de $0^m,004$ d'épaisseur, courbés en arcs de cercle de 0,325 de rayon, et tangents à la circonférence extérieure de la roue. Elle a $2^m,28$ de diamètre, et reçoit l'eau par un canal rectiligne, à peu près horizontal, fermé à son extrémité par une vanne de même largeur, reposant sur son fond. Il en résulte qu'il n'y a de contraction que sur le côté supérieur de l'orifice, mais comme l'aire de cet orifice a été en général comparable à celle de la section d'eau dans le canal, il a été nécessaire d'y avoir égard, ainsi qu'on le verra ci-dessous.

Calcul de l'effet utile total.

La roue étant isolée de toutes les autres pièces de communication de mouvement, il n'y avait à joindre au travail disponible mesuré par le frein, que le travail résistant consommé par le frottement des tourillons de cette roue.

Calcul de l'effet théorique.

Pour calculer la dépense, l'on s'est servi de la formule connue

$$Q = mA\sqrt{\frac{2gH}{1-\frac{A^2}{O^2}}}$$

dans laquelle on représente par

A, l'aire de l'orifice;

O, l'aire de la section d'eau dans le canal;

H, la charge d'eau sur le centre de l'orifice;

m, le coefficient de la dépense, en ayant égard à la suppression de la contraction sur trois côtés (1).

L'eau atteignant toujours la roue à son sommet,

---

(1) Pour les diverses levées de vanne, on a pris comme valeurs correspondantes de *m* les nombres suivants :

Levées de vanne $= 0^m,050 — 0^m,75 — 0^m,100$
Valeurs de $m = 0,71 — 0,70 — 0,69$

il est facile de déterminer sa vitesse d'affluence V, qui fait ici, avec la vitesse v de la roue, un angle assez petit pour que son cosinus puisse être pris égal à l'unité; h est égal au diamètre de la roue.

En laissant de côté les expériences où la vitesse de la roue est plus grande que celle de l'eau, on trouve, pour le coefficient du premier terme de la formule théorique, une moyenne générale de 0,762, en sorte que cette formule devient *Résultats des expériences.*

$$Pv = 762\, Qh + \frac{1000\, Q}{g}(V - v)v.$$

Les augets n'ont jamais été remplis même au tiers, en sorte que le versement n'a dû commencer que très-bas.

Le rapport du travail disponible au travail absolu du moteur est moyennement de 0,69, et quoique sa valeur maximum paraisse correspondre au rapport $\frac{v}{V} = 0,50$ à 0,65, il ne varie pas notablement pour des valeurs de $\frac{v}{V}$ comprises entre 0,45 et 0,80.

Roue à augets du gros marteau de forge de l'usine de la Renardière, à Framont (Vosges).

Cette roue est représentée (*fig.* 11). *Description.*

L'eau est amenée par un canal en bois, de 3^m environ de largeur près de la roue, et d'une largeur moyenne de $2^m,30$ sur le reste de sa longueur. Le volume d'eau qu'il débite n'étant pas assez grand pour suffire à la consommation de l'usine, quand le marteau doit battre à grande vitesse, le niveau s'abaisse rapidement pendant le travail.

Calcul de l'effet utile total.

Le travail résistant s'est réduit ici à celui que développe le frottement des tourillons de la roue, en sorte qu'il suffisait de l'ajouter au travail disponible mesuré par le frein, pour obtenir l'effet utile total.

Calcul de l'effet théorique.

Le fond du canal est dans le prolongement du côté inférieur de l'orifice, et la contraction a lieu sur les deux côtés latéraux et sur le côté supérieur. Dans ces circonstances, à l'aide des résultats fournis par les expériences de MM. Poncelet et Lesbros (1), et par celles de M. Bidone, on a pu déterminer le coefficient de la dépense théorique. Il est égal :

Pour des levées de vanne de

$0^m,025$ et $0^m,091$,

à $0\ ,644$ et $0\ ,649$

Il en résulte qu'en appelant

H, la hauteur du niveau au-dessus du centre de l'orifice;

Et A, l'aire de l'orifice ;

on aura pour la dépense :

$$Q = mA\sqrt{2gH}.$$

A la sortie de l'orifice. l'eau est animée d'une vitesse moyenne $\sqrt{2gH}$; mais à une petite distance, égale à une fois ou une fois et demie la hauteur de l'orifice, la veine fluide se dilate, la vitesse se ralentit, et devient, d'après les résultats d'expérience connus jusqu'à ce jour,

$$U = \sqrt{\frac{2gH}{1+\left(\frac{1}{m}-1\right)}};$$

(1) Expériences hydrauliques par MM. Poncelet et Lesbros, page 250, tableau XII. Paris, 1832.

à partir de cet endroit, le mouvement de l'eau s'accélère, et en appelant H' la pente totale du coursier, la vitesse moyenne du fluide devient

$$u = \sqrt{U^2 + 2gH'}.$$

Le reste s'achève comme pour la roue du moulin de Senelles; et, au moyen du procédé graphique indiqué (page 37), on détermine et V et γ.

Quand la vitesse de la roue est assez considérable pour que l'effet de la force centrifuge accélère le versement de l'eau, on ne peut plus dans la formule représenter par $1,000Qh$, le travail dû au poids de l'eau admise par la roue. M. Morin indique les moyens de calculer approximativement ce travail. Le terme qui représente ce dernier contient une intégrale, dont on détermine la valeur par des procédés graphiques assez compliqués. Résultats des expériences.

Toutefois, dans le cas des vitesses peu considérables, on peut encore employer la formule ordinaire. Tant que le rapport $\frac{v}{V}$ ne surpasse pas 0,70, il suffit d'appliquer au premier terme $1000Qh$ un coefficient, dont la valeur moyenne est de 0,78.

Quant à la vitesse de roue correspondant au maximum d'effet, l'on doit observer que le terme $\frac{1000Q}{g}(V \cos\gamma - v)v$ exerce dans les petites roues, avec fortes charges d'eau, une bien plus grande influence que dans les grandes roues avec faibles charges, et qu'il convient par conséquent de se rapprocher du rapport de vitesse qui correspond

au maximum du second terme, c'est-à-dire de la condition

$$v = \frac{1}{2} V.$$

A cette condition il en faut joindre une autre, c'est que les augets soient d'autant moins remplis, que la vitesse devient plus grande. Avec ces précautions, la formule pratique

$$Pv = 780\, Qh + \frac{1000\, Q}{g} (V \cos \gamma - v)$$

représente avec exactitude les résultats de l'expérience.

CONCLUSIONS.

De la comparaison des résultats obtenus pour les quatre roues à augets dont il vient d'être question, et dont les diamètres ont varié de 9^m,10 à 2^m,28, on déduit les conséquences suivantes :

1° Toutes les fois que les augets ne sont qu'à moitié remplis, et que la vitesse à la circonférence de la roue ne dépasse pas 2 mètres par seconde pour les plus petites, et 2^m,50 pour les plus grandes, l'effet utile est représenté à $\frac{1}{10}$ près par la formule pratique

$$Pv = 780 Qh + \frac{1000\, Q}{g} (V \cos \gamma - v) v.$$

2° L'on peut laisser sur le seuil des orifices une certaine charge d'eau proportionnée au diamètre de la roue, ou à la chute totale ;

3° Le rapport de la vitesse de la roue à la vitesse d'affluence de l'eau peut, dans les grandes roues, varier entre des limites très-étendues, c'est-à-dire de 0,30 à 0,80, et pour les petites de 0,40 à 0,60 : ce qui rend l'emploi de ces roues très avantageux dans les usines, où la vitesse de l'outil doit éprouver des variations notables ;

4° Le rapport du travail disponible fourni par ces roues, au travail absolu dépensé par le moteur, est, dans les limites précédentes, compris entre 0,65 et 0,70;

5° Quand les augets sont remplis au delà de la moitié de leur capacité, ou que la roue marche assez vite pour que le versement de l'eau commence sous l'action de la force centrifuge, il convient d'employer la formule donnée par M. Poncelet pour les roues à grandes vitesses.

L'auteur du mémoire établit en outre les *règles pratiques* suivantes :

1° Lorsque le niveau ne doit éprouver que de faibles variations, on peut disposer l'orifice de manière que, la vanne étant verticale, il y ait sur le seuil de l'orifice une charge d'eau s'élevant à

$0^m,50$	pour les chutes de	$2^m,60$ à 3^m.
$0^m,60$	———	$3^m,00$ à 4^m.
$0^m,70$	———	$4^m,00$ à 6^m.
$0^m,80$	———	$6^m,00$ à 7^m. et au delà.

Cette progression est nécessaire pour obtenir une facile introduction de l'eau dans les augets;

2° Les bords de l'orifice doivent être disposés de manière à éviter la contraction sur le fond et sur les côtés verticaux ;

3° L'orifice doit être suivi d'un coursier, le plus court possible, et d'une pente de $\frac{1}{12}$ au plus; entre le point inférieur de ce coursier et la roue on ne doit laisser qu'un intervalle de $0^m,01$;

4° Si le niveau éprouve des variations considérables, il faut disposer l'orifice de manière à ce qu'il puisse prendre l'eau à une hauteur convenable à tous les niveaux auxquels la roue doit marcher, et par conséquent adopter une disposition analogue à celle de la roue de Guebwiller,

en ayant soin que les cloisons directrices soient inclinées de manière à satisfaire à la condition énoncée plus bas. Il en doit être de même toutes les fois que la disposition de l'usine exige que la roue tourne dans le sens du mouvement de l'eau dans le canal de fuite. Dans ce cas, il faut régler la position du point de rencontre du filet moyen de la veine avec la roue, de manière que l'eau ait une vitesse d'arrivée de 3 mètres au moins : ce qui exige que ce point soit à 0m,46 environ au-dessous du niveau ;

5° Pour éviter le choc de l'eau contre la face extérieure de l'auget, il faut que sa vitesse d'arrivée soit la diagonale d'un parallélogramme, dont la face intérieure de l'auget et la vitesse de la roue soient les deux côtés;

6° La vitesse de la roue peut atteindre 2 mètres par seconde pour les petites roues, et 2m,50 pour les grandes;

7° La capacité des augets doit être réglée de manière qu'ils soient à peine à moitié remplis;

8° L'écartement des augets doit rester compris entre 0m,30 et 0m,40.

NOTICE GÉOLOGIQUE

Sur les mines d'anthracite de Fragny, commune de Bully; et sur le défilé des roches de la Loire, entre les bassins de Feurs et de Roanne.

Par M. HÉRICART DE THURY, Inspecteur général des mines.

Mines d'anthracite de Fragny, commune de Bully.

Les mines de houille sèche, ou plutôt d'anthracite, de Bully-Fragny, près de Roanne, dans le département de la Loire, sont un des points de la partie orientale du grand massif de porphyre du centre de la France, où l'action de la chaleur émanée du sein de la terre, et l'influence des roches pyrogènes sur les terrains qui les recouvrent, sont le mieux marquées et le mieux attestées par tous les accidents qu'ils présentent.

Jusqu'à ce jour aucun géologue, aucun minéralogiste n'a parlé des mines de Fragny. M. Dufrénoy, dans ses Considérations générales sur la géologie du plateau central de la France(1), a cité la mine de houille de Charlieu, près de Roanne, dans la chaîne qui sépare le bassin de la Saône et du Rhône de celui de la Loire; mais il ne paraît pas avoir connu celles de Bully-Fragny, quoique cependant il ait parlé du *défilé des roches* (2), dans lequel coule la Loire au-dessous de

---

(1) Mémoires pour servir à la description géologique de la France, par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont; tom. 1, pag. 281.

(2) Dufrénoy, mémoires cités, pag. 245-247.

ces mines, entre les deux grands bassins de Feurs et de Roanne, ou le haut et le bas Forez (1).

Plusieurs ingénieurs et élèves des mines, parmi lesquels je dois citer M. Chatelux, M. Gruner, M. Boitelet, ont visité les mines de Fragny à diverses époques; mais aucun n'en a donné de description, aucun n'a encore fait connaître le pays dans lequel elles se trouvent, et cependant peu de pays présentent autant de motifs d'instruction sous le rapport de la géologie. Je crois donc devoir faire connaître quelques observations que j'ai recueillies sur ces mines et sur la construction physique des montagnes du défilé des roches; je n'ai pas la prétention d'avoir tout vu, tout observé, je n'ai d'autre but que d'appeler l'attention des géologues, des ingénieurs, des antiquaires et des peintres, sur un pays à tous égards digne de leurs recherches et de leurs études. Je ne crains pas de m'avancer, en leur promettant de nombreux motifs d'études et d'instruction dans les montagnes du défilé des roches, pays resté, je ne sais pourquoi, inconnu jusqu'ici.

Bassin de Feurs.

Lorsqu'on parcourt le magnifique bassin de la Loire (2), qui s'étend dans le haut Forez, depuis

---

(1) Le Forez, *plaga Segusianorum*.

(2) La Loire, le plus grand fleuve de France, prend sa source au mont Gerbier, à quelque distance de Mezea, dans la Haute-Loire. Elle coule d'abord du sud au nord, et du sud-est au nord-ouest, séparée à l'est, du Rhône et de la Saône par la chaîne granitique et porphyrique du Forez, du Lyonnais et du Beaujolais, et à l'ouest, de l'Allier par les monts Forez et de la Made. Elle se dirige ensuite au nord-ouest jusqu'auprès d'Orléans, puis elle suit presque constamment, sauf quelques déviations, la direction de

Saint-Rambert et Feurs jusqu'au confluent de l'Aix, entre Saint-Germain-le-Val sur la rive gauche, et Néronde sur la rive droite, au-dessus des ruines du pont romain de Pinay, et qu'on voit la largeur de ce bassin, son étendue, ses plaines, ses sables, ses argiles et calcaires tertiaires, ses prairies, leurs nombreux étangs et leurs vastes parties encore marécageuses, il est impossible de ne pas se demander : 1° si ce bassin n'a pas autrefois formé

l'ouest, et va se jeter dans l'Océan après un cours de 1.350.000 mètres, ou près de 270 lieues.

La hauteur moyenne de la Loire varie entre 5 et 6 mètres. Sa pente moyenne est d'un centimètre par cent mètres, ou de 22 pieds environ par lieue, mais elle a souvent des sauts ou cascades de plusieurs mètres de hauteur.

Elle commence à être flottable au village de Retournac, à cinq lieues de Beauzac dans la Haute-Loire. Le flottage s'y fait sur plus de 50.000 mètres, elle devient ensuite navigable près de Saint-Rambert, mais d'une navigation difficile, et quelquefois même impraticable entre Feurs et Roanne, dans le défilé des roches.

Cette rivière traverse onze départements, savoir : 1° la Haute-Loire ; 2° la Loire ; 3° Saône-et-Loire ; 4° l'Allier ; 5° la Nièvre ; 6° le Cher ; 7° le Loiret ; 8° le Loir-et-Cher ; 9° l'Indre-et-Loire ; 10° la Mayenne ; et 11° la Loire-Inférieure.

Sur sa rive droite elle ne reçoit qu'une grande rivière, la Mayenne, mais sur sa rive gauche, où elle est dominée par de hautes chaînes de montagnes, elle en reçoit un grand nombre dont les principales sont : 1° l'Allier ; 2° le Cher ; 3° l'Indre ; 4° la Vienne ; 5° la Sèvre ; 6° le Loir ; 7° la Sarthe.

Elle reçoit en outre le canal du Centre et celui de Briare, qui, réunis par le canal latéral, établissent, d'une part, une grande communication entre la Méditerranée et les mers du Nord, et, d'autre part, de l'Océan à l'ouest avec le Rhin par le canal du Centre, la Saône et le canal de Monsieur.

Hypothèse sur l'ancien barrage ou la digue de ce bassin, et sur son ouverture.

un grand lac, soit par suite d'un immense affaissement, soit, et plutôt, par l'effet d'une digue ou barrage qu'un grand soulèvement de roches pyrogènes aurait formé depuis le môle de Pinay et Saint-Priest jusqu'à Villerest, près et au-dessus de Roanne; 2° si l'écoulement des eaux de ce lac n'aurait pas eu lieu par suite d'une rupture qui aurait ouvert le défilé ou la gorge des roches dans le massif de ce soulèvement; et 3° si les vallées latérales, également ouvertes dans ce massif, sont de la même époque, ou si elles sont dues à des ruptures et à des dislocations partielles opérées par des secousses ou de grands tremblements de terre successifs (*Pl. II, fig.* 1).

Description du défilé de la gorge des roches.

Qui visiterait isolément le haut et le bas Forez, ou les deux bassins de Feurs et de Roanne, ne pourrait jamais s'attendre à les voir séparés par un défilé aussi étroit, aussi profond, aussi sévère que la gorge des roches (*fig.* 2). C'est un vrai pays de montagnes, à gorges profondes, à rochers abrupts, escarpés ou à pic. Il n'y existe aucun chemin à voiture, il n'y a que des sentiers à mulets ou à pieds. Les habitations y sont éparses çà et là, où un abri, une exposition un peu favorable et la disposition ou la nature du sol ont permis d'y cultiver un petit champ, d'y bâtir une maison.

Sur les pointes de rochers qui dominent la gorge, des forts ou des tours avaient été construits pour en défendre ou protéger le passage, tels que les châteaux ou les forts de Saint-Georges, de Pinay, des Roches, du Verdier, du Chantois, de Saint-Maurice, etc.

Ce pays fut autrefois couvert de belles forêts, mais elles sont aujourd'hui entièrement détruites.

Les vallées les plus rocailleuses des hautes chaines des Alpes ne présentent pas de site plus âpre et plus sévère.

Le défilé a six lieues de longueur, des roches de Saint-Priest au sud, à Villerest au nord. Sa direction, malgré quelques coudes ou sinuosités plus ou moins considérables, peut être rapportée du sud-est au nord-ouest. En beaucoup d'endroits des rochers de porphyres et de mélaphyres rouges, bruns ou noirs, dénués de toute végétation, s'élèvent çà et là ; et, par leurs formes aiguës et décharnées, ils semblent autant de ruines de châteaux-forts et de vieux manoirs féodaux.

Calcinés, altérés, en pleine décomposition, ces rochers, fracturés dans toute leur hauteur, sont prêts à s'abîmer et à barrer le passage de la gorge, dont le fond est tellement resserré en plusieurs endroits, que la Loire, qui en occupe entièrement la largeur, y laisse à peine sur la rive un étroit sentier. Cette rivière n'y coule souvent que par sauts et cascades ; des rochers à fleur d'eau en rendent la navigation difficile et périlleuse : cependant c'est par ce défilé, c'est par cette gorge que descendent et viennent à Roanne les bateaux de charbon des mines de Saint-Etienne ; je ne puis dire tous les bateaux, car combien y périssent malheureusement chaque année.

Nécessité d'améliorer la navigation de la Loire.

On ne saurait trop appeler l'attention du gouvernement sur ce dangereux passage de la Loire, et sur la nécessité de prendre des mesures pour en améliorer et y assurer la navigation.

Projet de route départementale.

Le conseil général du département de la Loire a décidé, dit-on, qu'une route départementale y serait ouverte sur la rive gauche. Ce sera une excellente, une grande et importante opération

pour le pays et la prospérité de son agriculture; mais dans l'intérêt des mines de houille de Saint-Etienne, et dans celui de la ville de Paris, que ces mines devraient approvisionner de charbon, il est encore plus urgent d'améliorer la navigation de la Loire, et de la rendre navigable en toutes saisons. En été, lorsque les eaux sont basses, les bateaux ne peuvent la descendre sans danger; et les bateliers, en cas d'accident dans ce défilé presque entièrement désert et d'un accès très-difficile, n'ont le plus souvent aucun secours à espérer.

Considérations sur la constitution physique du pays.

Avant de décrire la nature des roches dans lesquelles est ouvert le défilé de la Loire, et les phénomènes ignés qu'elles présentent, il paraît convenable d'exposer préalablement quelques observations sur la constitution physique du grand massif de soulèvement dans lequel est ouvert ce passage, pour arriver à l'explication de sa formation et de celle des vallées latérales et des vallons secondaires qui en forment les ramifications.

Direction des vallées latérales à la Loire.

Ainsi qu'il a été dit en commençant, le défilé des roches est dirigé du sud-est au nord-ouest, depuis les ruines du pont romain de Pinay jusqu'au bourg de Saint-Maurice, à une lieue au sud et en avant de Roanne.

Les vallées qui sont à l'ouest sur la rive gauche de la Loire, savoir : celles de l'Ysable, et de l'Aix de Saint-Germain-le-Val, sont parallèles à ce défilé, mais dirigées en sens contraire. Elles descendent, du nord-ouest au sud-est, de la chaîne primitive qui sépare le département de la Loire de ceux de l'Allier et du Puy-de-Dôme, et viennent verser leurs eaux dans la Loire avant qu'elle

entre dans le défilé des roches; tandis qu'à l'est la vallée de Gand, la seule vallée un peu importante qui soit sur la rive droite dans cette partie du massif de soulèvement, également parallèle au défilé, et dirigée comme lui du sud-est au nord-ouest, descend de la chaîne primitive de Joux, entre Saint-Symphorien et Tarare, qui sépare le département de la Loire de celui du Rhône.

Les chaînons qui séparent ces différentes vallées sont tous de même nature, de roches entritiques; ces vallées ont probablement été ouvertes par mouvements successifs et soulèvements partiels, lors de la grande dislocation du massif de ces roches pyrogènes, et de l'ouverture de la digue ou barrage du bassin de Feurs; mais ces soulèvements ne peuvent cependant être de la même époque, ils doivent être distingués de ceux qui ont formé, 1° à l'est la grande chaîne granitique qui délimite le bassin du Rhône et de la Saône; et 2° à l'ouest celle qui sépare le bassin de la Bèbre de celui de la Loire.

Effets des soulèvements de diverses époques.

Je viens de dire que des soulèvements partiels ont eu lieu dans ce massif de montagnes; en effet, les roches entritiques pyrogènes, qui en constituent essentiellement la base, présentent les caractères les plus certains, les plus prononcés des violentes secousses qui les ont soulevées, heurtées et bouleversées, ainsi que l'attestent, 1° leurs ruptures, leurs contournements, les rochers aigus et abrupts qui les ont traversées en sortant de terre, les débris, les fragments, les galets plus ou moins altérés, entassés et agglomérés pêle-mêle dans les brèches et les poudingues qui étaient à la surface de ces roches, avant que les

terrains de transition vinssent les recouvrir; et 2° l'état morcelé et en lambeaux de ces terrains; état qui atteste encore une autre époque de soulèvement et de bouleversement (*fig.* 2).

Parmi les roches entritiques des montagnes du département de la Loire, on distingue, 1° des porphyres; 2° des trappites mélaphyres; et 3° des eurites porphyroïdes.

Porphyres. 1° Les porphyres. Ils forment généralement la base des montagnes des deux rives du défilé des roches. Ils offrent un grand nombre de variétés; ainsi on en trouve de noirs, gris, verts, jaunes, rouges, bruns, etc., avec cristaux de quartz gris et de feldspath blanc ou rose, plus ou moins altérés. Ils constituent essentiellement ces montagnes depuis leur base jusqu'à leur sommet, ils recouvrent même souvent les terrains de transition et secondaires, sur lesquels ils se sont déversés. Les rochers de Saint-Maurice (1), sa gorge profonde, et celle de la goutte de la Plagne, présentent les plus belles variétés de porphyres noirs, rouges, gris, jaunes, verts, à grands éléments cristallins. On pourrait y établir une scierie pour débiter et tailler ces belles roches, que la Loire amènerait

(1) Le bourg ou petite ville de Saint-Maurice, qui ne se trouve dans aucune géographie, a dû être anciennement un point important pour la défense du pays. Elle était, à cet égard, dans une position des plus avantageuses. Elle est bâtie sur la pointe d'un rocher de porphyre dont une partie est à pic au-dessus de la Loire, et une partie par gradins couverts de vignes, dans la meilleure exposition. Du côté du midi est un ravin profond avec quelques terrasses également en vigne. Les maisons de Saint-Maurice sont construites en porphyre de toutes couleurs; elles sont groupées dans une enceinte de vieilles murailles très-resserrée autour d'un vieux château, et d'une église nouvelle-

à Paris toutes travaillées. Il serait facile d'en extraire des colonnes de six, huit et dix mètres de longueur, et des tables de toutes dimensions. Ces porphyres sont quelquefois c upés par des filons de quartz et de baryte sulfatée. Enfin la terre végétale n'est, en beaucoup d'endroits, que le sable ou le détritus de ces porphyres altérés ou décomposés.

2° Les trappites mélaphyres. Noirs, bruns, gris, verts ou rougeâtres, ils recouvrent par places les porphyres, mais irrégulièrement; ils semblent même ne se trouver qu'accidentellement entre eux et les roches suivantes. Trappites mélaphyres

3° Les eurites porphyroïdes. Noirs, verts et bruns, souvent ils sont immédiatement sur les porphyres, et paraissent en avoir éprouvé la chaleur, qui les a plus ou moins altérés. Eurites.

Sur ces roches est un terrain de transition composé, 1° de schistes argilo-magnésiens; 2° de conglomérats, brèches et poudingues. Terrain de transition.

1° Les schistes argilo-magnésiens. Ils recouvrent les trappites et les eurites qui manquent quelquefois; alors ces schistes reposent sur les porphyres. Dans ce cas ils sont jaunes ou rou- Schistes argilo-magnésiens.

---

ment restaurée. On descend à la Loire par une rampe très-roide, pavée en porphyre ou taillée dans le porphyre même. Au milieu de la Loire est un îlot, ou rocher de porphyre, sur lequel était une tour qui protégeait ou interdisait la communication des deux rives, ou celle du haut et du bas Forez par le défilé des roches. Saint-Maurice n'est qu'à deux lieues de Roanne; les voyageurs qui se détourneront de leur route pour visiter cette petite ville, seront amplement dédommagés par tous les motifs d'intérêt, d'étude et de curiosité que leur présenteront sa situation, ses ruines, et la tour du rocher du défilé des roches de la Loire.

geâtres. Ces schistes affectent dans leurs débris une division ou retrait prismatique qu'au premier aspect l'on pourrait prendre pour une cristallisation rhomboïdale.

Brèches et poudingues argilo-talqueux.

2° Sur les schistes argilo-talqueux, et souvent au milieu d'eux, sont des couches irrégulières de brèches et poudingues à pâte d'argilophyre, ou de conglomérats schisto-magnésiens. Ces couches sont plus ou moins contournées avec des resserrements et des gonflements de toutes dimensions. Ces conglomérats sont particulièrement composés de fragments roulés de toutes grosseurs, et quelquefois d'un très-grand volume, de quartz, de porphyres, de feldspath, de schistes, etc.; plusieurs de ces fragments sont fortement altérés; ils paraissent avoir éprouvé un violent coup de feu. La disposition de ces poudingues et conglomérats est très-irrégulière; ainsi, dans quelques endroits ils manquent entièrement; dans d'autres ils se trouvent par amas ou rognons, tantôt au milieu des schistes verts argilo-magnésiens, et tantôt dans les trappites et les eurites; et lorsque ceux-ci manquent ils sont sur les porphyres. Ces brèches et poudingues sont généralement en couches irrégulières plus ou moins suivies et presque toujours altérées, comme les roches sur lesquelles ils se trouvent.

Le chemin du Verdier (1) à Cordelles présente, en plusieurs endroits, des amas de ces conglomérats dans les schistes talqueux, en couches con-

(1) Le Verdier est un groupe de maisons ou petit hameau dans la position la plus pittoresque, sur un petit plateau commandé par un vieux fort construit au sommet de l'escarpement des rochers de la rive droite, et qui servait à défendre ou à protéger le passage de la vallée.

tournées. On en trouve de beaux exemples au bas de la côte, près du moulin de Prelles, avec des caractères d'altération très-prononcés (*fig.* 3).

Enfin ces conglomérats et poudingues, par les faibles dimensions des débris fréquents qui les composent, passent quelquefois à l'état de grauwackes schisteuses par des gradations insensibles, mais sou ent très-irrégulières.

Terrain anthraxifère.

Ces terrains de transition sont recouverts par un terrain anthraxifère qui présente au plus haut degré, comme on va le voir, les effets de l'action de la chaleur des roches pyrogènes et l'influence de leur soulèvement.

Schistes phyllades et calcaires carbonifères saccaroïdes et coquilliers.

Des schistes noirs phyllades alternent d'abord avec des calcaires noirs, compactes, carbonifères, auxquels succèdent des phyllades ou schistes argileux et des calcaires noirâtres ou bleuâtres saccaroïdes et coquilliers, coupés de veinules spathiques blanches. Ce calcaire est dur, susceptible de poli; on pourrait l'employer comme marbre; mais dans le pays il n'a d'autre emploi que pour la chaux. Il contient des entroques, des caryophillites, des bélemnites, des ammonites, etc.

Exploitation du calcaire saccaroïde sous la tour du Verdier, rive droite de la Loire.

On trouve ces terrains sur les deux rives de la Loire, à différentes hauteurs, mais plus particulièrement sur la rive droite, où on les exploite sur le bord du chemin qui monte aux ruines de la tour du Verdier.

Schistes phyllades et calcaire carbonifère à la tour du Chantois, rive gauche de la Loire.

Sur la rive gauche on trouve également les schistes phyllades et le calcaire carbonifère compacte sur les conglomérats ou poudingue schisteux du pied jusqu'au sommet de la montagne, autour des ruines de la vieille tour de la chapelle du Chantois (1).

(1) La tour du Chantois, située vis-à-vis de celle du Ver-

Ils sont dirigés nord et sud, et très-irréguliers dans leur manière d'être, mais cependant avec une inclinaison assez constante vers l'ouest.

Analogie de ce calcaire avec celui de Regny.

M. Dufrénoy, qui a reconnu ce même calcaire dans la chaîne d'entre Saône et Loire à Regny près Thizy et aux environs de la Clayette, le rapporte au calcaire de transition des Anglais. Je suis à cet égard entièrement de son avis, et, d'après les fossiles qu'il renferme, je considère en effet ce calcaire comme leur *carboniferow lime stone*.

Affaissement du ravin de la goutte de Chantois

En descendant au nord, dans le ravin ou la goutte de Chantois, sous les ruines de la tour, on passe successivement sur des schistes gris et verts, des grès psammitiques, des schistes argileux noirs, puis au fond du ravin, entre les schistes et les grès, on trouve un affleurement d'anthracite dirigé du sud au nord.

Schistes phyllades porcelanites.

Ces schistes sont d'une contexture très-fine, serrée et compacte. Ils sont rubannés. Parfois il se divisent en fragments pseudo-cristallins ou rhomboïdaux. Dans quelques endroits ils paraissent avoir éprouvé l'action du feu d'une manière violente, ils sont passés à l'état de porcelanite, état

---

dier, est, comme elle, bâtie au sommet des rochers de l'escarpement de la rive droite, au-dessus d'une gorge profonde dont elle défendait le passage ou la communication avec la Loire. Il existe, dit-on, des souterrains qui descendent jusqu'à la Loire. Les déblais et débris de rochers qu'on voit au-dessous de la tour, dans la pente nord du ravin, donnent quelque degré de vraisemblance et de probabilité à l'existence de ces souterrains, mais dont on ne connaît pas l'ouverture, que l'on dit fermée par les ruines de la tour, près de laquelle est une habitation perchée sur le bord extrême du précipice.

qui ne peut être attribué qu'à l'action de la chaleur des porphyres sur lesquels ces schistes reposent.

Grès psammitiques.

Les grès psammitiques sont plus ou moins gros, et quelquefois à grins très-fins. Ils sont gris ou noirâtres, ils contiennent des grains de feldspath. Quelques-uns de ces grès sont durs et compactes, d'autres sont tendres et terreux; ils paraissent, comme les schistes, avoir été altérés par la chaleur des porphyres.

En remontant de l'autre côté du ravin on voit, çà et là par places sur toute la pente de la montagne, les mêmes schistes et grès se montrer à nu; mais en remontant le ravin du Chantois on retrouve à peu de distance des porphyres qui semblent recouvrir le terrain anthraxifère.

Vestiges d'anciennes exploitations de charbon anthracite.

En se reportant vers le nord, on découvre dans les terres et les vignes, aux environs du hameau de Fragny, de nombreux vestiges d'exploitations d'anthracite faites anciennement par fendues ou puits inclinés. Une partie de ces exploitations remonte à une époque déjà reculée, d'autres sont récentes. Les vieillards du pays disent que le charbon des mines de Fragny est connu depuis long temps, et que depuis plusieurs siècles leurs auteurs l'exploitaient chacun dans leur propriété pour les fours à chaux; mais qu'ils ont tous successivement été obligés d'abandonner leurs travaux, soit par suite des éboulements, soit par l'abondance des eaux qui les inondaient, leur peu de moyens et l'exiguité de leurs propriétés ne leur permettant point de faire les travaux nécessaires. Plusieurs de ces anciennes exploitations sont restées ouvertes dans les vignes. Elles s'affaissent peu à peu, et rendront désormais l'extraction plus difficile et plus dispendieuse.

Frappé de tous les inconvénients et des suites fâcheuses qui résultaient de ces exploitations superficielles, un habitant de Fragny, un peu plus fortuné, a essayé, au moyen d'un puits et d'une galerie d'écoulement, une exploitation plus régulière; mais le peu d'étendue de sa propriété et l'insuffisance de ses moyens ne lui permettant point de faire les travaux et les dépenses nécessaires, son exploitation aura infailliblement avant peu le même sort que celle de ses prédécesseurs. Une nouvelle entreprise s'est organisée depuis pour faire une exploitation régulière de ces mines. C'est aux travaux de cette compagnie que nous devons la connaissance exacte de la disposition et de la manière d'être de ce gîte d'anthracite.

Nouvelle exploitation.

Suivant quelques vieux mineurs, il existerait aux environs de Fragny plusieurs couches de charbon depuis le bord de la Loire, ou le pied de la montagne, jusqu'au plateau de Bully, et ils se fondent à cet égard, soit sur plusieurs affleurements qui ont été reconnus en divers endroits, soit sur les anciens travaux dans lesquels ils prétendent qu'on a exploité plusieurs couches.

Cependant des deux puits percés par les nouveaux exploitants, le plus profond, celui des Glandes, qui a $40^{m},60$, n'a encore fait connaître qu'une seule couche dirigée du sud au nord avec une inclinaison de 45° à l'ouest (*fig.* 4).

La puissance réduite de cette couche est de $0^{m},55$ à $0^{m},60$, ou de 20 à 22 pouces.

Elle se compose de trois veines distinctes séparées par des lits de schistes et de grès, ainsi qu'il suit :

	m
1° Le toit qui est un grès houiller, ou psammite quartzo-feldspathique de 0m,35, ci	0,35
2° Un schiste phyllade impressionné, de 0m,30, ci.	0,30
3° Une veine de charbon, dite la veine du toit, de 0m,20, ci	0,20
4° Un grès fin quartzo-feldspathique d'une contexture très-fine, avec un nerf de schiste impressionné qui le sépare par la moitié, de 0m,40, ci. .	0,40
5° Une seconde veine de charbon, dite la veine du milieu, de 0m,25, ci.	0,25
6° Un grès fin psammitique, de 0m,10, ci. . . .	0,10
7° Une troisième veine de charbon, dite la veine du mur, de 0m,15, ci.	0,15
Et pour mur, un grès quartzo-feldspathique dont l'épaisseur est inconnue.	
Ainsi l'épaisseur totale de la couche est de 1m,75, ci.	1,75
Dont à déduire celle des grès et des schistes, 1m,20, ci.	1,20
Reste pour la puissance réduite des trois veines de charbon ou d'anthracite, 0m,55, ci.	0,55

Des deux puits percés par la nouvelle compagnie, celui des Glandes a été ouvert à 130 mètres au-dessus de la Loire. Il a 40m,60 de profondeur; il est en plein dans le charbon, qui a été reconnu par une galerie de plus de 50 mètres de longueur. Puits des Glandes.

L'autre puits, dit du Cerisier, a son ouverture 35 mètres plus bas que celui des Glandes. Elle est à 95 mètres au-dessus de la Loire. Il a 22 mètres de profondeur. Puits du Cerisier

Le puits des Glandes a été arrêté sur la couche que je viens de décrire. Jusqu'à présent on s'est borné à reconnaître le grès du mur au-dessous duquel on assure qu'il existe d'autres couches plus puissantes.

Puits du bord de la Loire.

On voit en effet, au pied de la côte sur le bord de la Loire, un affleurement sur lequel il a été fait un puits de recherches de 25 mètres de profondeur. La veine ne s'y montrant pas d'une manière favorable, ce puits a été abandonné à 13 mètres au-dessous de cette rivière. La direction des couches, qui étaient verticales, était nord et sud.

Affleurements de la goutte de la Plagne et d'Odenay

Il existe encore d'autres affleurements dans l'étendue du territoire de la commune de Bully : ainsi on en voit un dans la goutte (le ravin ou gorge) du torrent de la Plagne, sur le chemin de Bully à Roanne; et deux près du hameau d'Odenay, dirigés les uns et les autres du sud au nord avec la même inclinaison à l'ouest.

Commune de Cordelles, sur la rive droite.

Sur la rive droite, en face et à la même hauteur que Bully, est la commune de Cordelles, sur un plateau porphyrique, et qui présente les mêmes circonstances. Au pied de la montagne on trouve les porphyres verts, gris et jaunes, ensuite le porphyre rouge altéré, et dont la chaleur a détérioré les schistes verts et les conglomérats partout où ils sont en contact immédiat.

Roches de trapps mélaphyres de la Dent-du-Garde.

De distance en distance, sur le bord de la Loire, on voit des trapps et des mélaphyres en rochers abrupts, escarpés et crénelés, qui se sont élevés à travers les schistes. Le rocher de la Dent-du-Garde, en face de l'établissement de la compagnie, offre un exemple remarquable de ces roches ignéennes, de ces dicks qui, dans leur surgissement, ont bouleversé et altéré tout le terrain de leur voisinage.

Conglomérats du moulin de Prelles.

A peu de distance de la Dent-du-Garde, près du moulin de Prelles (1), les conglomérats ou

(1) Ce moulin, placé sur le bord de la Loire, est bien

poudingues présentent sur le bord du chemin du bac un autre sujet d'étude du plus grand intérêt par tous les galets qui les constituent et leur état d'altération.

Affleurements, recherches et exploitation de Jeuvres.

Au nord, sur la pente de la montagne en descendant de Cordelles à Jeuvres par Changy, on retrouve vis-à-vis le bourg Saint-Maurice au-dessus des porphyres, les schistes et les grès houillers ou anthraxifères, puis des affleurements sur lesquels il a été fait quelques recherches et même une exploitation qui a duré plusieurs années, mais qui a été abandonnée par suite d'accidents et faute de moyens.

Nature du charbon ou de l'anthracite de Fragny.

Le combustible de Bully, Fragny et des environs est bien de l'*anthracite*, ou de la houille maigre, sèche et sans bitume. Il est d'un noir brillant et très-éclatant. Il brûle sans flamme et sans fumée, son bitume ayant été probablement évaporé par suite de la chaleur que les roches pyrogènes ont communiquée au terrain houiller qui a été plus ou moins altéré, suivant qu'il était plus ou moins voisin de ces roches.

Qualité et usage de cet anthracite.

Contenant 0,685 de carbone, cet anthracite est d'un bon emploi pour les cheminées, les poêles et tous les usages domestiques, ayant le grand avantage de brûler sans odeur ni fumée.

Il est excellent pour tous les ouvrages de forge, de taillanderie, de maréchalerie, de clouterie, etc.

Enfin, il est depuis longtemps employé pour la cuisson de la chaux et du plâtre, et convient es-

---

le moulin dans l'enfance de l'art; il est établi sous des perches qui, couvertes de quelques bottes de paille, mettent les meules farinières à l'abri. Ce moulin est véritablement curieux pour sa construction.

sentiellement pour cet usage dans les fours perpétuels.

Exploitation par galeries.

L'exploitation de cette mine pourra présenter quelques difficultés, à raison de tous les accidents que le terrain houiller a éprouvés, mais elle pourra cependant se faire à peu de frais, la pente de la montagne permettant de pratiquer à toute hauteur le percement de galeries qui serviront à la fois pour l'écoulement des eaux et la descente du charbon sur le bord de la Loire.

Étendue du terrain anthraxifère.

L'étendue du terrain anthraxifère n'est pas connue. S'il ne présente pas de gisements épais et puissants, du moins il en existe sur un grand nombre de points du massif porphyrique du défilé des roches, très-éloignés même les uns des autres : ainsi, on le trouve à l'entrée de la gorge sur les deux rives de la Loire. A l'est une exploitation a même été ouverte dans la commune de Saint-Priest, avec succès, par un chaufournier, et l'on cite plusieurs indices de charbon au revers oriental de la montagne de Cordelles, entre Vandranges et Saint-Cyr, sur la rive gauche de la rivière de Gand, et l'on a vu plus haut que le terrain houiller s'étend au nord de Cordelles jusqu'à Jeuvres, vis-à-vis Saint-Maurice.

A l'ouest, sur la rive gauche, ce terrain existe dans les communes de Saint-Paul-de-Vezelin, d'Amions et de Saint-Paul, dans la vallée de l'Ysable, au revers occidental de la montagne de Bully et de Fragny, et l'on y indique plusieurs affleurements qui s'y montrent favorablement, mais que le défaut de chemins ne permet pas d'exploiter.

Ce terrain est généralement morcelé et en lambeaux.

L'altération des schistes et des grès, le passage des schistes à l'état de porcelanite et la nature de l'anthracite, ne sont pas les seules influences que ce terrain ait éprouvées du voisinage des porphyres et roches pyrogènes. Sa manière d'être et son allure, comme on vient de le voir, s'en sont fortement ressenties; elles en présentent même des effets ou conséquences très-remarquables : ainsi, non-seulement ce terrain a été fortement chauffé par l'influence ignée des porphyres, mais il a lui-même été soulevé, rompu, bouleversé et mis en lambeaux. Il a suivi tous les mouvements des roches entritiques pyrogènes dans leur soulèvement; ainsi on le trouve sur leurs plateaux avec l'inclinaison à l'ouest qu'a dû lui donner leur renversement, lors de la grande dislocation qui a ouvert le défilé des roches de la Loire; ainsi on le trouve sur leurs pentes, qu'il recouvre par places, lorsque le porphyre dans son soulèvement ne l'a pas écarté ou rejeté pour se montrer au jour; ainsi on le trouve au niveau et même beaucoup au-dessous de la Loire, dans le ravin de la goutte de Chabry, entre deux montagnes de porphyre qui, dans leur soulèvement, l'ont serré et étranglé; ainsi dans quelques endroits il est recouvert par le porphyre qui s'est déversé et s'est étendu sur lui comme un manteau, en se modelant sur sa forme; ainsi, enfin, outre ses démembrements et bouleversements, ce terrain a encore été déchiré et accidenté par des surgissements partiels de dicks, de roches mélaphyres pyrogènes qui l'ont traversé, et qui viennent çà et là sur les deux rives de la Loire former des rochers aigus, dont les couleurs noires et rouges, les dentelures et les formes abruptes, donnent au défilé des roches l'aspect le plus sau-

vage et parfois le plus pittoresque. Nos peintres de paysage vont chercher dans les Alpes et les Pyrénées des sites qui sont certainement bien moins variés, moins imposants et moins terribles que les roches de la Dent-du-Garde, de la tour du Verdier ou de celle du Chantois, et en général tous les rochers du défilé de la gorge de la Loire.

Enfin, et en terminant, je répéterai, ainsi que j'ai dit en commençant, que peu de pays présentent réellement autant de témoignages de l'action et de l'influence des roches pyrogènes sur les terrains qui les recouvrent, que les mines d'anthracite de Fragny et des environs.

NOTICE

Sur le frein dynamométrique, appareil servant à mesurer la force des machines à vapeur, des roues hydrauliques, et, en général, de tous les moteurs appliqués à des arbres de couche pour leur imprimer un mouvement de rotation.

Par M. DE SAINT-LÉGER, Ingénieur des mines.

La publication de la note de M. de Prony sur son frein dynamométrique remonte à l'année 1826, et, depuis cette époque, toutes les personnes, ayant quelques connaissances en mécanique, regardent comme incontestables les résultats qu'on peut obtenir à l'aide de cet instrument, quand il est bien manœuvré et bien disposé. Des expériences multipliées, exécutées par des ingénieurs, dont le nom seul suffit pour ne pas permettre de doute sur leur exactitude, ont été faites depuis lors avec le frein, notamment par M. Poncelet, chef de bataillon du génie, par M. Arthur Morin, capitaine d'artillerie, et par M. Egen, ingénieur prussien. Considérations préliminaires.

Le frein est donc aujourd'hui, aux yeux de tous les mécaniciens éclairés, un appareil qui a définitivement pris place parmi les machines que l'industrie pourrait appeler à son aide avec confiance. Il s'en faut cependant que tous les industriels l'admettent également. L'ajustage et la manœuvre de cet appareil offrent dans la pratique

quelques difficultés que tous les expérimentateurs n'ont point réussi à surmonter; en sorte que son usage est loin d'avoir pénétré en France dans toutes les localités où l'extension de l'industrie fait sentir le besoin de mesurer exactement la force des moteurs, pour régler ou éviter les contestations fréquentes qui s'élèvent entre les constructeurs et les acquéreurs de machines motrices.

Les industriels ne possèdent pas, en général, les connaissances qui leur permettraient d'apprécier la valeur des résultats donnés par le frein, et les constructeurs de machines repoussent, presque tous, ces résultats, soit que les lumières leur manquent également, soit que leur intérêt les porte à écarter toute vérification sur l'exécution des promesses qu'ils font, à l'envi les uns des autres, aux acquéreurs de leurs machines.

Je ne sais ce qui a lieu à cet égard sur les autres points de la France; mais voici ce qui se passe dans le département de la Seine-Inférieure. Quelques constructeurs sont parvenus à accréditer parmi les industriels l'opinion que leurs machines, bien qu'ayant la même force nominale que celles de leurs concurrents, avaient cependant une force réelle beaucoup plus grande; ils arrivent ainsi à tromper les acheteurs sur le rapport entre la quantité de charbon brûlée et la force produite.

La plupart de ces constructeurs n'hésitent pas à déclarer que leurs machines ne consomment ordinairement que $2\frac{1}{2}$ ou 3 kilog. au plus de charbon par cheval et par heure. Presque aucun ne reconnaît dépasser la limite de 4 kilogrammes, et cependant, vérification faite, on trouve que beaucoup de ces machines brûlent 4, 5, 6, et

même jusqu'à 8 kilogrammes de charbon par cheval et par heure. Il est facile d'estimer, d'après ces faits, combien il est important de faire connaître quelles sont les machines à vapeur qui tiennent le mieux les promesses de leurs auteurs, dans un pays comme le département de la Seine-Inférieure, où le charbon vaut ordinairement plus de 4 francs le quintal métrique. Il est essentiel surtout que, lorsqu'une contestation s'élève, elle puisse être jugée de manière que personne n'ait le droit d'énoncer des doutes sérieux sur les moyens de vérification employés, et l'on conçoit comment il se fait que tous les constructeurs du département de la Seine-Inférieure repoussent l'usage du frein dynamométrique comme ne pouvant pas donner de bonnes indications.

Ma position d'ingénieur des mines, chargé du service du sous-arrondissement de Rouen, m'ayant fait souvent appeler pour régler de semblables contestations, soit comme arbitre, soit comme expert, je crois devoir faire connaître dans tous ses détails l'appareil que j'ai employé, et que j'ai fait faire de façon qu'il pût être ajusté sur toutes les machines à vapeur montées actuellement dans le département que j'habite.

Cette notice n'étant pas destinée à être lue seulement par des personnes qui s'adonnent exclusivement aux sciences, il ne sera peut-être pas inutile de rappeler ici la description et la théorie du frein de M. de Prony, ainsi que les causes qui ont pu rendre son emploi difficile ou même inexact pour quelques expérimentateurs.

Supposons que *a* (*Pl. IV*, *fig.* 11) soit l'arbre de couche sur lequel est appliquée la force que l'on veut mesurer; on cale sur cet arbre une roue ou

Frein de M. de Prony.

poulie en fonte *bb*, de manière qu'elle tourne forcément avec l'arbre; puis on ajuste sur la poulie deux morceaux de bois *c*, *d*, appelés mâchoires du frein, entaillés circulairement, de manière à embrasser une partie de sa circonférence. Deux autres pièces de bois *e*, *f*, exactement pareilles, et dont l'une prend le nom de bras de levier du frein, sont posées sur les précédentes : le tout est relié ensemble par deux forts boulons *g*, *g*, que l'on peut serrer à volonté avec les écrous *h*, *h*.

L'appareil se trouve ainsi composé de deux parties bien distinctes : l'une est formée de la poulie en fonte qui fait corps avec l'arbre de couche, et doit toujours tourner avec lui; l'autre, à laquelle appartient proprement le nom de frein, comprend les quatre pièces de bois et les deux boulons en fer. Elle n'est point fixée sur la première : elle peut tourner indépendamment de la poulie, et en frottant sur sa circonférence, comme une roue ordinaire tourne sur son essieu. Le frottement peut, à volonté, être rendu plus ou moins fort, selon qu'on serre plus ou moins les écrous *h*, *h*.

Supposons que l'arbre *a* ne tourne pas encore, et que les écrous *h*, *h* ne soient pas serrés, on conçoit que si les pièces de bois du frein ne sont pas plus lourdes d'un côté que de l'autre, si le centre de gravité du système se trouve dans l'axe de l'arbre, les pièces *e*, *f*, demeureront horizontales, si on les place dans cette position. L'équilibre ayant été préalablement établi, faisons tourner l'arbre *a*; la poulie *bb* tournera avec lui, et tendra à entraîner le frein dans son mouvement de rotation; mais les écrous *h*, *h* n'étant pas serrés, le plus léger obstacle, tel qu'un poids P très-faible,

suspendu au point m, à l'extrémité de la pièce de bois e, suffira pour arrêter son mouvement, et même pour le faire tourner en sens contraire, sans qu'il en résulte un effet très-sensible sur la force qui fait tourner l'arbre a. Si l'on commence à serrer les écrous, il n'en sera plus ainsi. Le frottement sur la circonférence de la poulie deviendra plus considérable, et le poids P ne suffira plus pour empêcher la poulie de faire tourner le frein avec elle; supposons alors qu'on augmente le poids d'une quantité suffisante pour arrêter le bras de levier du frein. L'arbre a continuant à tourner, le frottement développé présentera une certaine résistance qui sera vaincue par la force motrice de l'arbre, mais qui en absorbera une partie. On conçoit qu'en continuant à serrer les écrous pour augmenter le frottement, et en augmentant aussi le poids P, on parviendra à produire une résistance qui, tout en permettant à la machine motrice de marcher avec sa vitesse habituelle, et de conserver, par conséquent, exactement les mêmes conditions que dans le travail pour lequel elle a été faite, absorbera cependant toute la force disponible communiquée à l'arbre a. Cette condition sera évidemment produite quand une augmentation, si petite qu'elle fût, dans le poids P et dans la pression des écrous, ralentirait le mouvement de l'arbre, de manière à lui faire perdre quelque chose de sa vitesse normale. L'équilibre étant établi de telle sorte que le bras de levier du frein demeure horizontal, bien que sollicité à la fois par deux forces opposées, savoir, le frottement de la poulie, et le poids P supposé arrivé au maximum, il est bien clair que la force absorbée par le frottement est précisément égale

à la force disponible communiquée à l'arbre : il suffira donc de calculer le frottement produit autour de la poulie, pour avoir la puissance exacte du moteur, et la condition obtenue de l'équilibre entre l'action des forces qui agissent sur le bras de levier, en donne le moyen.

En effet, soient :

F la force développée par le frottement autour de la poulie ;

M la quantité d'action de cette force par seconde ;

Υ Le rayon de la poulie autour de laquelle agit la force F ;

P le poids suspendu au bout du bras du levier, quand le frottement absorbe toute la puissance de la machine motrice ;

R le bras du levier au bout duquel le poids P est suspendu (sa longueur est la distance mesurée horizontalement entre le centre de la poulie et le point de suspension du poids).

Si v est la vitesse d'un des points de la circonférence dont Υ est le rayon ;

n le nombre de tours de l'arbre en une seconde ; et π le rapport de la circonférence au diamètre, on aura

$$M = Fv = F \times 2\pi\Upsilon \times n.$$

Or, le poids P agissant au bout du levier R, fait équilibre à la force F, qui agit au bout du levier Υ : on a donc

$$PR = F\Upsilon, \quad \text{d'où} \quad F = \frac{PR}{\Upsilon}.$$

Remplaçant F par sa valeur dans la première équation, il vient

$$M = \frac{PR}{\Upsilon} \times 2\pi\Upsilon \times n = P \times n \times 2\pi R.$$

Cette valeur de M, ou la quantité d'action absorbée par le frottement à calculer, ne contient plus, comme on le voit, que des quantités données directement par l'expérience.

Le rayon Υ ayant disparu, on en conclut qu'il est indifférent, quant à la théorie, de choisir une poulie dont le rayon est grand ou petit; mais on reconnaît dans la pratique que plus ce rayon est grand jusqu'à une certaine limite, et plus l'opération est facile à exécuter, parce que la pression à exercer avec les écrous diminue à mesure que la surface de frottement devient plus grande.

La condition de l'horizontalité du bras de levier du frein a pour but de permettre au poids P d'agir toujours au bout du levier constant R comme une force constante égale à son propre poids.

L'accomplissement de cette condition est impossible à obtenir dans la pratique, parce qu'on n'atteint jamais le degré juste auquel il faut serrer les écrous, pour que l'effet du frottement soit égal à celui du poids; ou que, si l'on y arrive, l'équilibre est détruit presque aussitôt après, par suite de l'usure et du défaut d'homogénéité des surfaces frottantes. Après avoir approché graduellement du point convenable, on le dépasse, alors le frottement l'emporte sur le poids, qui est immédiatement entraîné, et le bras du levier, qui était horizontal, incline en montant. On desserre aussitôt un peu l'un des écrous, jusqu'à ce que le frottement, devenant trop faible pour le poids, celui-ci l'emporte et fasse redescendre le bras du frein. On resserre alors promptement, et ainsi de suite.

Telle est la manière d'opérer qui avait été in-

diquée par le célèbre M. de Prony, dès l'année 1826.

Inconvénients que présente l'emploi du frein dans la pratique.

En répétant ces expériences, on trouva que la chaleur développée par le frottement du collier du frein avait l'inconvénient, soit d'enflammer les mâchoires de ce collier quand elles étaient en bois, soit de faire *gripper* les surfaces frottantes l'une sur l'autre, lorsqu'elles n'étaient composées que de parties métalliques. On fit alors passer un filet d'eau entre ces surfaces pour les refroidir, et l'appareil put, dit-on, fonctionner avec toute la précision désirable.

Dans certaines circonstances il arriva cependant que le frottement entre les surfaces mouillées donnait lieu à un frémissement violent dans l'arbre de couche, et l'on parvint à le faire disparaître en joignant l'emploi de la graisse à celui de l'eau.

La première fois que l'occasion se présenta pour moi d'avoir recours à l'emploi du frein, les localités permettant que l'on se servît de l'appareil de M. de Prony sans modifications, j'employai provisoirement celui qui est représenté *fig.* 11, dans lequel le bout du levier est terminé par un arc de cercle *on*, dont le centre est dans l'axe de l'arbre de couche, et qui est destiné à faire agir toujours le poids P au bout d'un bras de levier constant, malgré ses oscillations (1).

Il s'agissait de mesurer une force de dix à douze chevaux sur un arbre de couche faisant environ trente tours par minute. La poulie en fonte *bb* qui fut calée sur l'arbre de couche et sur la surface

(1) Cette addition a déjà été indiquée par M. Fourneyron, ancien élève de l'école des mineurs de Saint-Étienne.

cylindrique de laquelle s'opérait le frottement, avait $0^m,60$ de diamètre et $0^m,40$ de largeur. Les bras *e*, *f*, étaient des pièces de bois de chêne de 7 à 8 pouces d'équarrissage. On arrosait extérieurement la poulie *bb* pendant la marche de la machine, avec le jet d'une petite pompe à incendie, et l'on put manœuvrer facilement les écrous *h*,*h*, de manière à maintenir le bras de levier dans un état d'oscillations convenable. Je n'obtins cependant pas de résultats satisfaisants, parce que le frottement donnait lieu au frémissement dans l'arbre de couche, dont j'ai parlé ci-dessus, et il me fut impossible d'éviter cet inconvénient, soit qu'on introduisît de l'eau seule entre les surfaces frottantes, soit qu'on y ajoutât du suif ou de l'huile et de la plombagine. Je pensai que cette cause d'erreur, qui ne s'était pas toujours rencontrée dans les expériences faites antérieurement à l'aide du frein, était due à la nature des surfaces frottantes, ainsi qu'au rapport existant entre la vitesse du mouvement de rotation et la pression des écrous du collier; mais, plutôt que de rien changer aux dimensions et à la nature des pièces de l'appareil, j'eus l'idée de faire diriger le jet de la pompe à incendie, non plus sur la surface extérieure de la poulie *bb*, mais contre la partie interne de cette surface, et l'on continua en même temps à graisser l'extérieur. Aussitôt le frottement devint tellement doux et égal, qu'il fut très-facile de manœuvrer l'appareil sans aucun risque d'accidents, et pendant un temps indéfini.

On opéra ainsi durant environ six heures consécutives, et l'on détermina en même temps la force de la machine motrice et sa consommation en charbon.

Avantages des opérations longtemps prolongées.

Je crois que cette longue durée accordée à l'opération est une des principales garanties de son exactitude lorsqu'on agit sur une machine à vapeur, et que l'on n'a pas à sa disposition des moyens plus parfaits que ceux qui accompagnent ordinairement ces machines, pour indiquer la pression de la vapeur et la hauteur de l'eau dans la chaudière. Si, en effet, l'on faisait dans ces circonstances des expériences de quelques minutes seulement, ou même d'un quart d'heure, l'impossibilité où l'on serait de reconnaître si toutes les conditions de vitesse, de pression et de hauteur d'eau dans la chaudière, sont exactement les mêmes à la fin qu'au commencement de chaque expérience, pourrait donner lieu à des erreurs considérables sur la force de la machine, et sur la question de savoir si la chaudière peut fournir une suffisante quantité de vapeur. Cette impossibilité, qui n'a lieu qu'entre des limites assez peu écartées, devient sans aucune importance dans une opération qui a duré pendant plusieurs heures. Si l'on avait des moyens parfaits d'apprécier à chaque instant les circonstances où se trouve tout l'appareil, les expériences de peu de durée seraient encore extrêmement difficiles à bien faire, parce qu'on ne pourrait que rarement gouverner le système de manière que tout demeurât constant pendant la marche de l'appareil, ou seulement se retrouvât dans le même état à la fin qu'au commencement. Ces expériences ne donneraient rien d'ailleurs sur le combustible consommé, et c'est ordinairement là ce qu'il est le plus important de déterminer, *de manière à se mettre à l'abri de toutes les tentatives de fraude*. Quand, au contraire, on fait marcher une machine pen-

dant tout un jour, ou au moins plusieurs heures, en la réglant le mieux possible avec les moyens fournis par le constructeur qui l'a vendue, rien de plus facile que de mesurer rigoureusement le charbon employé, de reconnaître si la chaudière fournit assez de vapeur, et d'obtenir ainsi la solution complète du problème.

Alors les oscillations inévitables dans la tension de la vapeur, dans la hauteur de l'eau que renferme la chaudière, et dans la vitesse de la machine, ne peuvent plus induire en erreur : ce sont des circonstances inhérentes à l'état habituel de toute machine à vapeur, et, au lieu d'influer d'une manière qu'il est impossible d'évaluer avec précision, sur une expérience de 10 à 15 minutes, leur effet se répartit sur tout un jour absolument comme dans la marche ordinaire de la machine, elles cessent donc complétement de constituer des causes d'inexactitude dans les résultats.

L'expérience est venue justifier pleinement ces prévisions, en faisant voir que les résultats obtenus par de longues opérations étaient parfaitement comparables entre eux, tant sous le rapport de la force produite que sous celui de la quantité de charbon brûlé dans un temps donné.

La construction d'un frein devant entraîner une dépense assez considérable, j'ai cherché à faire construire le mien de façon qu'il fût transportable et pût être employé dans le plus grand nombre de cas possible. J'examinai donc les dispositions principales des nombreuses machines qui se trouvent dans le sous-arrondissement où je réside, et je remarquai que le premier arbre de couche, celui auquel est confiée toute la puissance du moteur, et que l'on doit toujours choisir pour y ap-

pliquer le frein, est tantôt horizontal, tantôt vertical; qu'il est rond ou carré, que sa grosseur est généralement comprise entre 5 et 20 centimètres, pour les machines de 6 à 40 chevaux; qu'il est souvent à une petite distance sur toute sa longueur, soit d'un sommier, soit d'un mur, et quelquefois même de deux murs formant entre eux un angle droit. C'est d'après ces données que j'ai dressé le plan du frein à faire construire, le destinant à mesurer toutes les forces comprises entre 6 et 40 chevaux.

Description d'un appareil destiné principalement à mesurer la force des machines à vapeur de 6 à 40 chevaux.

Voici la description détaillée de cet appareil. Il se compose de deux parties principales :

1° La lanterne, espèce de cylindre creux en fonte que l'on cale sur l'arbre de couche, et qui est représenté *Pl. III*, *fig.* 1, 2, 3, 4, 6, 7 et 8.

2° Le collier, système comprenant le bras de levier du frein, et deux larges coussinets en bois reliés entre eux par une forte bande de fer, à l'aide de laquelle on peut faire varier la pression et le frottement des coussinets sur la lanterne, ces coussinets, et la bande de fer qui les relie, sont représentés *fig.* 1, 2, 4, 5 et 6.

Construction de la lanterne.

La lanterne est en fonte, et formée de deux pièces entièrement semblables, qui se réunissent suivant un plan passant par l'axe. Cette disposition était nécessaire pour que l'on pût ajuster le frein sur un arbre de couche sans démonter celui-ci, ni rien déranger aux roues qui se trouvent presque toujours à ses extrémités.

Les plans de jonction des deux moitiés de la lanterne ont été parfaitement dressés avec une machine à raboter la fonte, en sorte que le joint formé après la réunion de ces plans ne laisse pas échapper l'eau.

Les deux joues de la lanterne ne sont pas semblables : celle que, pour plus de clarté, j'ai désignée dans l'explication des planches sous le nom de joue postérieure, est terminée à sa circonférence par un bourrelet creux, qui règne tout autour sans interruption lorsque la lanterne est assemblée, et qui n'a pas d'ouvertures en dehors : il ne communique qu'avec l'intérieur, à l'aide d'un grand nombre de trous percés à cet effet (voyez *w*, *w*, *w*, *fig.* 4). Son usage sera expliqué lors de la description de la manœuvre de l'appareil dans le cas d'un arbre de couche vertical.

Cette partie de l'appareil peut présenter quelques difficultés dans la construction. On a tenté de couler d'une seule pièce chaque moitié de la lanterne; peut-être aurait-on réussi en moulant la pièce en sable recuit, mais il aurait fallu faire faire exprès un châssis de fonte, ce qui aurait entraîné trop de dépenses, en sorte que la pièce a été moulée en sable vert dans un châssis de bois. Il s'est formé plusieurs soufflures sur la partie de la surface du bourrelet où se trouve la bande de fer désignée au dessin par la lettre c', dans les *fig.* 6, 7 et 8. On a enlevé sur le tour toute cette partie, que l'on a remplacée par une bande de fer ajustée sur la fonte avec des vis. Le bourrelet se trouvant après cette opération aussi propre au service que s'il était d'une seule pièce avec la lanterne, il serait plus facile, en cas de construction d'un nouvel appareil, de laisser le bourrelet ouvert à sa circonférence, et de le fermer ensuite comme on a dû le faire ici.

La surface cylindrique, ou surface de frottement de la lanterne, a été tournée avec soin, ainsi que

l'intérieur des rebords formés sur cette partie par les deux joues.

Quand on assemble les deux moitiés de la lanterne, elles sont toujours amenées exactement dans la même position relative par les goujons coniques indiqués en *f'*, *f'*, *fig.* 3 et 8. En sorte que les trous qui donnent passage aux boulons à travers les oreilles, se correspondent bien exactement; ces trous sont percés cylindriquement, et les boulons qui les traversent sont tournés, afin qu'il n'y ait que le moins de jeu possible.

Construction du collier.

J'ai reconnu dans mes visites de machines que l'appareil ne pourrait presque jamais être employé avec la forme représentée *fig.* 11. Il est très-rare, en effet, que l'arbre de couche, sur lequel on doit ajuster le frein, se trouve au milieu d'un espace libre assez grand pour permettre les oscillations d'un système composé de deux pièces telles que *e*, *f*; j'ai dû, pour pouvoir rendre mon appareil applicable dans la plupart des cas, supprimer la pièce *f* (1), et arrondir le coussinet *d*, de manière à donner à l'ensemble la forme représentée *fig.* 9. Cette disposition permet, en plaçant en dessus ou en dessous, selon les cas, le coussinet arrondi, d'éprouver toute machine dont le principal arbre de couche ne se trouve pas distant de moins de $0^m,554$ d'un sommier ou d'un mur. A la vérité, le centre de gravité du système ne se trouve plus dans l'axe de l'arbre de couche; mais on verra comment il est possible de remédier à cet inconvénient.

Il est essentiel que les coussinets en bois portent

(1) MM. Poncelet et Morin avaient déjà indiqué la suppression de cette pièce comme nécessaire en général.

bien sur la gorge de la lanterne, en sorte que le meilleur mode d'exécution, pour former la partie courbe intérieure, serait de les faire aléser : mais cela n'est nullement indispensable, ceux de mon appareil ayant été faits à la main par un menuisier. Le frottement ne les use presque pas, et je pense qu'ils résisteront plus longtemps que la lanterne en fonte. Ils sont construits en bois de hêtre.

La bande *qqq* (*fig.* 1), destinée à relier tout le système et à remplacer les deux boulons de la *fig.* 11, est exécutée en bon fer corroyé. Ses deux extrémités sont tarraudées sur 25 centimètres de longueur. Le filet de la vis est triangulaire; la hauteur du pas est de $3^{\text{millim.}},94$, et son plus grand diamètre de 41 millimètres.

Le bras de levier doit avoir environ 3 à 4 mètres de longueur, en sorte qu'il n'est pas facile à transporter; mais j'ai adopté pour cette pièce un mode de construction qui permet de l'exécuter partout très-promptement et presque sans frais. Il suffit d'assembler avec des vis à bois ou simplement des clous, quelques planches d'un pouce ou dix-huit lignes d'épaisseur au plus, disposées comme on le voit *fig.* 13, 14 et 15. On peut ensuite démonter ces planches après l'opération, qui ne les a nullement détériorées, et les employer à tout autre usage. Les bras de leviers, construits ainsi, ont toute la solidité désirable, et sont en même temps d'une grande légèreté. Cette construction est surtout avantageuse dans le cas où le frein, étant ajusté sur un arbre vertical, le bras de levier doit osciller dans un plan horizontal. Elle ne permet pas que le poids de son extrémité le fasse plier d'une manière sensible, condition

qui, autrement, ne pourrait pas être remplie sans qu'on donnât beaucoup plus de pesanteur à l'appareil, ce qui entraînerait quelques inconvénients.

Pose de l'appareil.

On doit toujours placer le frein aussi près que possible de la machine motrice dont on veut mesurer la force, parce que l'appareil n'indiquant que la quantité d'action disponible communiquée à la partie de l'arbre sur laquelle il est ajusté, ne donne rien sur la force perdue par les transmissions de mouvement entre la machine et lui.

On doit encore tâcher d'établir le frein près de l'un des coussinets de l'arbre de couche, afin que son poids ne puisse pas faire fléchir cet arbre.

Calage de la lanterne.

La première opération à exécuter, après avoir assemblé les deux moitiés de la lanterne sur l'arbre de couche, consiste à la caler de manière qu'elle *tourne rond*. On fait cette opération en employant huit cales en bois, quatre pour chaque joue de la lanterne. Ensuite on remplace sur chaque joue deux seulement des quatre cales de bois par deux autres de même grosseur en fer forgé, que l'on met en opposition l'une avec l'autre, et de manière que les quatre cales en fer se trouvent dans le plan de jonction des deux moitiés de la lanterne. Dans cette position, elles ne tendent pas à faire ouvrir le joint, et les quatre autres cales de bois qui doivent rester en place n'ont pas assez de dureté pour produire cet inconvénient. Dans mes premiers essais, je faisais mettre toutes les cales en fer, mais il arrivait souvent que quelques-unes tombaient pendant les expériences.

Quand l'arbre de couche est carré, l'ajustement des cales est tout simple; lorsqu'il est rond, deux

moyens se présentent. Jusqu'aujourd'hui j'ai fait dresser à l'avance sur l'arbre, parallèlement à son axe et à l'endroit où devait porter chaque cale en fer, une petite surface plane de 25 millimètres de large et de 18 centimètres de long, l'établissement de ces facettes exige l'enlèvement d'une si petite quantité de métal que l'arbre de couche n'en est pas sensiblement affaibli. Le calage s'opère absolument comme sur un arbre carré, et il suffit que les cales en fer, qnand elles portent bien, soient chassées avec un marteau pesant moins d'un kilogramme. J'ai eu l'occasion de faire poser ainsi la poulie dans cinq opérations différentes, l'une desquelles pour mesurer une force de 35 chevaux, et dans aucune d'elles il n'est survenu de dérangement. S'il fallait absolument éviter de faire les facettes sur l'arbre de couche, je suis persuadé, sans cependant en avoir fait l'expérience, qu'on obtiendrait un calage suffisant en opérant comme il suit.

Après avoir enlevé avec soin les corps gras dont l'arbre pourrait être enduit, on le frotterait avec de la craie, puis on y appliquerait une sorte de manchon de longueur suffisante, formé de deux pièces en tôle de six lignes d'épaisseur, s'ajustant le plus exactement possible sur l'arbre, et reliées par deux colliers en fer : des facettes auraient été préparées sur le manchon et serviraient à caler, comme dans le cas précédent; toutefois, au lieu de deux cales en fer et de deux en bois pour chaque joue de la lanterne, on pourrait mettre toutes les cales en fer. Ici l'élasticité de la tôle posée entre l'arbre et les cales suffirait probablement pour empêcher le dérangement dont j'ai parlé ci-dessus, quand on ne conserve pas de cales en bois.

Ce système de calage est représenté *fig.* 16.

Quand la lanterne est calée définitivement, elle ne doit pas avoir plus d'un millimètre de *faux rond* pour que la manœuvre du frein soit facile.

Cas où l'arbre de couche est horizontal.

Moyen d'équilibrer le bras de levier.

On met alors en place les coussinets en bois *ll* et *nn* (*fig.* 1), dont on a graissé la partie cylindrique avant de l'appliquer sur la lanterne, puis on met le bras de levier, comme on le voit *fig.* 9, sur le coussinet *ll*, et on pose les pièces en fer *u*,*u* et les écrous *s*,*s*, que l'on serre seulement assez pour relier tout le système de telle sorte qu'il reste deux à trois pouces de jeu entre le coussinet *nn* et la lanterne *bb* : ensuite on introduit horizontalement, entre le coussinet *ll* et la lanterne en *a'*, une petite barre de fer taillée en couteau, que l'on maintient dans le plan vertical passant par l'axe de l'arbre de couche. L'extrémité opposée du bras de levier est soutenue pendant ce temps par une corde φ de six à dix lignes de diamètre attachée en *b'*, et qui, s'appliquant sur une partie de l'arc *v'v'*, dans une gorge destinée à la recevoir, va passer sur la poulie χ, suspendue de telle sorte que la corde φ y arrive en suivant une direction verticale.

La corde φ supporte à son extrémité un plateau de balance sur lequel est posé un poids ψ tel, que que le bras de levier du frein étant dans une position horizontale, et les deux extrémités du système ne portant que sur le couteau *a'* et sur la corde φ, le tout demeure en équilibre; la poulie χ, dont on verra plus tard la description, est très-mobile sur son axe : le poids ψ est ordinairement très-voisin de 40 kilogrammes. Avec ces conditions on parvient à établir l'équilibre de manière qu'il soit rompu par un poids de $0^k,25$ au plus.

J'emploie pour m'en assurer un petit peson très-sensible, avec lequel je tire le poids ψ verticalement de haut en bas, puis de bas en haut. Je modifie le poids ψ jusqu'à ce qu'il faille exactement le même effort pour mettre le système en mouvement, soit en montant, soit en descendant. On retire alors le couteau a', et l'on serre assez les écrous pour que le coussinet *nn* vienne s'appliquer contre la lanterne. Je considère alors le système entier comme exactement en équilibre, mais cela ne suffit pas pour qu'il y demeure pendant les oscillations continuelles du bras de levier : car, par la construction même de l'appareil, la distance mesurée horizontalement entre l'axe de l'arbre de couche et le centre de gravité du collier, y compris le bras de levier, diminue quand celui-ci s'élève, et augmente lorsqu'il s'abaisse. Pour que l'équilibre ait constamment lieu, il faut que, si b (*fig.* 17) est le centre de gravité du collier, y compris le bras du levier, et c sa pesanteur totale, le point a étant la projection verticale de l'arbre de couche, on place en g sur la ligne droite *bag*, un poids D, tel que l'on ait

$$D \times ag = c \times ab.$$

Mais dans la pratique on trouve quelquefois de grandes difficultés à placer le poids D, soit à cause de sa pesanteur, soit à cause du manque de place pour la longueur qu'il faut donner à ag. On y remédie alors en fixant sur le collier, comme on le voit *fig.* 9, à $1^m,50$ ou 2^m au-dessous de l'arbre de couche, un poids B, tel que le centre de gravité du collier se trouve, quand le bras du levier est horizontal, dans le plan horizontal passant par l'axe de l'arbre de couche.

On détermine à l'avance ce poids B par une expérience directe, en assemblant le collier à terre horizontalement sur le côté, et le posant sur une planche mise de champ, qui forme comme un couteau, sur lequel on le fait osciller en variant le poids B, jusqu'à ce que le système demeure en équilibre. On aura une idée exacte de cette opération, si l'on suppose pour un instant que la *fig.* 9 est une projection horizontale, et que la lanterne *bb*, ainsi que les cordes ρ et φ, sont enlevées; que, de plus, la ligne MM est le couteau dont je viens de parler.

On peut encore arriver à placer le centre de gravité du système dans la ligne horizontale M, sans employer le poids B. Il suffit pour cela de modifier un peu la position de l'arc $v'v'$ sur le bras de levier, de retourner cette pièce de façon que l'arc $v'v'$ s'élève au-dessus au lieu de descendre en dessous, et d'adopter, pour position mitoyenne du bras de levier, la position inclinée $v''v''$. On conçoit qu'il est toujours facile que le système ainsi disposé ait son centre de gravité sur la ligne MM.

Quand cette condition est remplie, les oscillations du bras de levier ne dépassant pas dix à onze degrés en dessus ou en dessous de l'horizontale, il s'ensuit que la distance, mesurée horizontalement de l'axe de l'arbre de couche au centre de gravité du collier, ne varie jamais de plus de $\frac{1}{55}$ de sa longueur.

Lorsque l'arbre de couche doit tourner dans le sens indiqué par la flèche, on a soin, avant d'équilibrer l'appareil avec le poids ψ, d'attacher en d' une corde ρ, qui tombe verticalement après avoir passé le long de l'arc $v'v'$, dans la même gorge

qui reçoit la corde φ. A l'extrémité de la corde ρ est suspendu un plateau de balance destiné à recevoir le poids P, indicateur de la force de la machine motrice. Le poids ψ est ensuite déterminé de la manière qui a été dite, mais en comprenant dans le système la corde ρ et son plateau.

Quand l'arbre de couche tourne en sens contraire, on peut, en général, se passer de la corde ρ; mais comme cela n'arrive pas toujours, il vaut mieux disposer de suite l'appareil d'une manière complète, afin de n'être pas obligé plus tard de rectifier le poids ψ, ce qui entrainerait une perte de temps assez considérable. La corde ρ est surtout nécessaire quand l'arbre de couche a une vitesse de plus de 20 tours par minute, et que la force à mesurer est de moins de 15 chevaux.

L'appareil, comprenant les deux cordes et les deux plateaux, étant équilibré par le poids ψ, on place le poids indicateur P dans le plateau de la corde ρ ou dans celui de la corde φ, selon que l'arbre de couche tourne dans le sens de la flèche ou dans le sens contraire.

Quelles que soient l'adresse et l'habitude de l'ouvrier chargé de la manœuvre des écrous du collier du frein, il ne peut souvent pas maîtriser les oscillations du bras de levier sans que l'on ajoute dans chacun des plateaux, en sus des poids ψ et P, un même poids additionnel qui ne change rien aux conditions de l'équilibre, mais qui, augmentant la masse totale que le bras de levier du frein doit mettre en mouvement lorsqu'il change de direction, diminue sa vitesse et donne le temps de serrer ou desserrer convenablement les écrous.

Cette addition est une cause d'erreur en ce qu'elle augmente la résistance opposée par le frot-

tement de l'axe de la poulie χ et la roideur des cordes, mais nous chercherons à l'apprécier plus tard.

On éviterait presque entièrement la résistance de cette poulie en la remplaçant par un fléau de balance disposé comme dans la *fig.* 12. On pourrait alors mettre des poids considérables dans les plateaux *a* et *b*, sans que le frottement sur le couteau *c* augmentât sensiblement. Mais les localités ne permettraient que bien rarement l'établissement de cette sorte de balance, qui devrait être fort grande, pour ne pas gêner des oscillations de quatre à cinq pieds de longueur. Il faudrait en outre la construire sur place, ce qui augmenterait les frais et les difficultés d'une opération qu'il est très-important de simplifier autant que possible. Au reste, comme je pense qu'il est toujours facile de mesurer le maximum d'erreur causé par la poulie, on pourra, dans chaque cas particulier, apprécier celui des deux modes d'opérer dont les inconvénients seront moindres. Je n'ai pas encore été en position d'essayer le fléau de balance.

Quand l'appareil est disposé comme il a été dit, il faut chasser des cales en bois *x*,*x* (voyez *fig.* 2 et 5), entre le bras de levier et les pièces en fer *u*,*u*, afin d'éviter tout dérangement quand on desserre les écrous. Deux autres cales doivent être posées en bois debout entre les pièces *u*,*u* et le coussinet *ll*, pour éviter que le bras de levier, lorsqu'il est construit en planches légères, soit écrasé par la pression des écrous.

Moyen de prévenir l'échauffement de l'appareil.

L'appareil est alors entièrement terminé, et il pourrait fonctionner pendant quelques moments dans cet état, mais il ne tarderait pas à s'échauffer : pour prévenir cet inconvénient, on dispose à

l'avance une petite pompe à incendie qu'un seul homme peut très-facilement manœuvrer quand elle est de bonnes dimensions, et l'on attache la lance de cette pompe sur un support, de manière qu'elle soit à peu près parallèle à l'axe de l'arbre de couche, que son extrémité se trouve à 15 centimètres environ de la joue antérieure de la lanterne, et qu'elle jette l'eau dans la zone où doivent tourner les ouvertures *i*, *i*, (*fig.* 1). Lorsque l'arbre de couche est en mouvement, ces ouvertures viennent successivement se présenter au jet de la pompe, et, comme il y a à peu près autant de vide que de plein, l'eau entre pendant la moitié du temps dans la lanterne; pendant l'autre moitié, elle rejaillit contre la roue et tombe à terre. Voilà du moins comment l'appareil a été disposé pendant les premières épreuves que j'ai faites. J'avais ménagé les ouvertures *ii*, dans la joue antérieure de la lanterne, croyant qu'elles m'offriraient le meilleur moyen pour l'introduction de l'eau dans l'appareil ; je ne savais pas alors quel mode de calage je pourrais définitivement adopter. Aujourd'hui, ayant bien reconnu que des cales, même moins larges que celles figurées en *k*, *k* (*fig.* 1), sont bien suffisantes, je dirige la lance de la pompe dans l'ouverture *dd*, où il y a beaucoup plus de vide que de plein, ce qui permet d'utiliser une plus grande partie de l'eau fournie par la pompe. L'eau introduite dans la lanterne roule contre ses parois intérieures et les refroidit, puis s'écoule par les ouvertures *i*, *i* à mesure que, dans le mouvement de rotation, elles arrivent au-dessous de l'arbre de couche. Cette eau tombe à terre en glissant le long du bord de la joue de la lanterne, et ne pénètre nullement entre les surfaces de frot-

tement; celles-ci sont enduites au contraire avec un mélange de suif et de plombagine. Le suif s'emploie à l'état solide; c'est le moyen d'en perdre le moins possible. Chaque morceau, que l'on taille de la grosseur du poing, a été légèrement roulé dans une écuelle contenant de la plombagine en poudre. L'ouvrier chargé de graisser, introduit avec la main ces morceaux dans l'un des espaces restés libres entre les mâchoires du frein, là où se trouvent les pièces de fer *t* (*fig.* 1), et il les pousse de temps en temps contre la surface extérieure de la lanterne. La faible chaleur que conserve toujours cette surface suffit pour mettre le suif en fusion et l'entraîner quand elle en manque.

Le mode d'introduction de l'eau, qui vient d'être décrit, offre l'avantage de ne donner lieu à aucun frottement ni à aucune action qui puisse nuire d'une manière appréciable à l'exactitude des résultats donnés par le frein, car la couche d'eau qui reste toujours dans la partie inférieure de la lanterne, et qui tend, en heurtant les côtes *z* (*fig.* 3, 4, 6 et 8), à ralentir le mouvement ne peut jamais s'élever au delà de deux litres.

La lanterne est ainsi refroidie et graissée à la fois, de telle sorte que le mouvement peut être indéfiniment prolongé sans donner lieu à la plus légère secousse. Mais toute l'eau employée tombe à terre avec le suif qui a servi à graisser les surfaces frottantes. Une partie de l'eau, rejaillissant contre la joue de la lanterne, va même retomber au loin, et il en résulte autour de l'appareil une malpropreté qui ferait renoncer à son emploi dans beaucoup d'établissements.

Enveloppe de toile pour éviter toute malpropreté autour de l'appareil.

Pour éviter cet inconvénient, j'ai fait faire une sorte d'enveloppe en toile ayant à peu près la forme d'un grand entonnoir, représenté en place *fig.* 18, et que l'on suspend aux mâchoires du frein. Du côté de la joue antérieure de la lanterne, la toile se prolonge en demi-cylindre, dont la base est appliquée avec une série d'anneaux et de petits clous contre le coussinet *ll*, de manière à ne laisser échapper aucune des gouttes d'eau qui ont rejailli. Cette toile ne s'élève pas de la même manière du côté opposé, parce que ce serait inutile. Une légère carcasse en fer empêche de chaque côté que la toile puisse se rapprocher de la lanterne assez pour être accrochée par les oreilles de jonction des deux moitiés de cette lanterne. La carcasse se compose, du côté de la joue antérieure, d'une bande circulaire en fer de deux lignes d'épaisseur, maintenue dans un plan parallèle à celui de la joue par quatre petits supports en fer, fixés avec des vis sur les coussinets en bois, après que ceux-ci ont été placés (voyez *fig.* 19). Du côté opposé, la carcasse est formée d'un arc de cercle seulement, fixé au coussinet inférieur (voyez *fig.* 20); l'enveloppe est en toile à voile ordinaire; il n'est nul besoin de la goudronner; on la rendrait beaucoup plus pesante et moins maniable, sans qu'elle devînt plus propre à l'usage auquel elle est destinée. La partie inférieure de l'enveloppe (voyez *fig.* 18) est engagée dans un tonneau défoncé par le haut, posé sur le sol, et dans la bonde duquel on a vissé l'une des extrémités d'un tuyau de pompe à incendie.

L'eau et le suif, qui tombent de l'appareil, arrivent dans le tonneau par l'intérieur de l'enveloppe. Le suif se réunit par petites masses, que

l'on retire de temps à autre pour ne pas laisser obstruer l'entrée du tuyau vissé dans le trou de la bonde, et l'eau qui s'écoule seule est dirigée de manière à ne pas causer de malpropreté.

Appareil où l'on éviterait l'emploi d'une pompe à incendie.

Cette manière de disposer l'appareil est très-commode, parce qu'on trouve toujours dans les établissements industriels des pompes à incendies munies de leurs tuyaux Mais on pourrait facilement s'arranger de manière à éviter l'emploi d'une semblable pompe. Il suffirait de remplacer sur la joue de la lanterne les quatre ouvertures i, i par huit bouts de tuyaux de cuivre à double courbure, d'un pouce de diamètre, disposés comme on le voit *fig.* 21 ; et pénétrant à frottement ou à vis jusqu'à l'intérieur de la lanterne, pendant le mouvement de rotation, les quatre tuyaux α, α puiseraient successivement, dans un petit bassin entretenu constamment plein, l'eau nécessaire au refroidissement de l'appareil, et les quatre tuyaux ζ, ζ déverseraient cette eau dans un autre vase. Cette disposition, quelque bien qu'elle fût exécutée, ne permettrait probablement pas la suppression de l'enveloppe de toile, à cause des fuites qu'il serait presque impossible d'éviter d'une manière absolue; on pourrait seulement, dans ce cas, se dispenser de faire l'enveloppe aussi grande et de l'accrocher aux coussinets du frein; mais ce ne serait pas un avantage appréciable sous le rapport de la justesse des résultats.

Manœuvre des écrous.

Avant de serrer les écrous pour manœuvrer le frein, il est nécessaire de poser d'une manière solide deux arrêts contre lesquels vient buter le bras de levier du frein, à la limite des plus grandes oscillations qui lui soient permises, parce que, dans les premiers instants de la marche, il est sou-

vent difficile de le maîtriser; parce qu'on a quelquefois besoin de faire tourner la machine motrice en sens inverse de son mouvement habituel; parce que surtout il faut éviter qu'une négligence de la part de l'ouvrier chargé de manœuvrer les écrous, permette au bras de levier du frein un trop grand mouvement, qui dérangerait tout l'appareil, et pourrait même blesser l'ouvrier chargé de graisser la surface de la lanterne.

L'un des plateaux, suspendus à l'extrémité du bras de levier, étant chargé du poids indicateur P déterminé approximativement *à priori*, et les écrous n'étant nullement serrés, le bras de levier doit être arrivé à l'une de ses positions extrêmes. On fait mettre alors la machine motrice en mouvement en faisant graisser et refroidir la lanterne; puis, au bout de quelques minutes, on commence à serrer légèrement les écrous avec une clef ordinaire : on les tourne tous deux à peu près également, jusqu'à ce que le frottement produit soit sur le point d'enlever le poids P, et, à partir de ce moment, on n'en manœuvre plus qu'un, parce que cela est plus commode. On doit serrer lentement, jusqu'à ce que le bras de levier se mette en mouvement pour venir à la position horizontale, puis desserrer un peu avant qu'il y soit arrivé, ce qui ne l'empêche pas de dépasser le point voulu, mais il revient bientôt sur lui-même; il faut resserrer aussitôt qu'il commence son mouvement rétrograde; lorsque l'appareil est convenablement disposé, cette partie de la manœuvre ne présente aucune difficulté, elle n'exige que de l'attention. Un ouvrier de force médiocre peut, lorsqu'il a acquis quelque habitude, continuer cette manœuvre pendant six heures de suite, en ne se re-

posant que deux ou trois fois pendant dix minutes.

Tant que la force à mesurer ne dépasse pas dix chevaux, et que la vitesse de l'arbre de couche est d'au moins trente tours par minute, la manœuvre des écrous se fait très-bien avec la clef représentée *fig.* 22.

Il serait plus commode encore d'employer une clef à quatre branches, ayant la forme d'un tourniquet; mais cet instrument augmenterait le volume et la difficulté du transport de l'appareil, en sorte que je ne l'ai pas fait faire. Quand la force du moteur dépasse dix chevaux, ou que la vitesse est moindre que trente tours, il faut avoir recours à un engrenage pour manœuvrer l'un des écrous. La première fois que j'ai reconnu cette nécessité, je mesurais une force de neuf chevaux environ sur un arbre qui ne faisait guère que neuf tours par minute; me trouvant dans l'impossibilité de faire faire des roues d'engrenage dans le délai qui m'était accordé, j'ai fait souder au bout de la clef un morceau de barre de fer qui a doublé sa longueur. Deux hommes, dont l'un commandait les mouvements à exécuter, l'ont manœuvrée ensemble; l'un d'eux était remplacé de temps en temps par un troisième, et l'on a pu régler très-bien ainsi la marche du frein pendant six heures; mais, à la fin, les trois hommes étaient épuisés de fatigue.

Depuis lors j'ai fait remplacer l'un des écrous par une roue dentée engrenant avec un pignon, ajusté sur l'une des pièces *u* des *fig.* 1 et 2.

Cette disposition est représentée *fig.* 23, et rend la manœuvre très-facile quand la pression du collier doit être forte.

Je l'ai employée plusieurs fois, et entre autres

dans une épreuve qui a duré sept heures consécutives, pendant lesquelles on a mesuré une force de 35 chevaux, l'arbre faisant 28 tours. L'ouvrier qui manœuvrait seul l'appareil, n'a pris pendant tout ce temps que deux repos, chacun de dix minutes, durant lesquelles il a été remplacé.

Je pense que, avec la même vitesse, l'appareil aurait pu mesurer facilement jusqu'à 40 ou 45 chevaux.

Lorsque l'arbre de couche est vertical, le calage de la lanterne s'opère de même qu'il a été dit pour le cas d'un arbre horizontal, seulement il ne faut pas manquer de mettre en haut le côté que j'ai appelé joue antérieure. Le bourrelet creux *cc* (*fig.* 1, 2, 4, 6, 7 et 8) se trouve alors en dessous : il sert à soutenir les mâchoires, et par suite le bras de levier, que l'on a reliés ensemble comme à l'ordinaire, en sorte que ce bras de levier puisse osciller dans un plan horizontal. **Cas où l'arbre de couche est vertical.**

Le frottement a lieu dans ce cas non-seulement sur la surface cylindrique extérieure de la lanterne, mais aussi sur la partie du bourrelet précité, comprise entre les circonférences des cercles *mm* et *cc* (*fig.* 1). Cette circonstance ne change rien à la théorie de l'appareil, parce que le rayon de la lanterne est éliminé de la formule définitive; mais elle exige quelques dispositions pratiques particulières. On ne peut plus ici, sans inconvénients, comme dans le cas d'un arbre horizontal, ne laisser séjourner qu'une très-faible quantité d'eau dans la lanterne pour refroidir sa surface cylindrique intérieure : on l'entretient constamment pleine d'eau, et cette masse de 90 à 100 litres tourne avec elle sans secousses ni chocs, en sorte qu'elle ne nuit en rien à l'exactitude des résultats.

Le renouvellement de cette eau pourrait, dans certains cas, ne pas suffire pour enlever suffisamment la chaleur produite sur le rebord ou bourrelet *cc* précité, c'est pour cela que cette partie est creuse et qu'elle communique avec l'intérieur de la lanterne par une série de trous *w,w,w*... représentés *fig.* 4 et 24. Dès que l'eau s'échauffe dans le bourrelet elle remonte dans l'intérieur de la lanterne, et se trouve naturellement remplacée à mesure par de l'eau froide.

Il est souvent essentiel, en même temps qu'on refroidit le frein, d'empêcher que l'eau tombe au-dessous de l'appareil, et le long de l'arbre de couche. Pour remplir cette condition, et entretenir en même temps un courant d'eau continu dans la lanterne, j'exécute les dispositions indiquées *fig.* 24.

L'eau froide arrive dans l'appareil par le tuyau *d* attaché à un point fixe, elle tombe dans le petit bassin en forme d'auge circulaire *ee*. Ce bassin est en cuivre, formé de deux pièces, réunies par des boulons et écrous, de manière à bien tenir l'eau (voyez *fig.* 25 et 26). Il est attaché sur la lanterne, et tourne avec elle de manière à recevoir toujours l'eau qui tombe du tuyau *d*. Cette eau s'écoule sans cesse du bassin *ee* dans la lanterne par le tuyau *f*, les intervalles entre les cales placées en *b,b* ont été garnis préalablement avec des coins en bois et de l'étoupe, de manière à retenir complétement l'eau, ou à n'en laisser échapper qu'une quantité moindre que celle que l'on fournit à l'appareil par le tuyau *d*, en sorte que l'eau ne tarde pas à monter dans la lanterne jusqu'au niveau supérieur du tuyau *cc*, arrasé à deux centimètres en contre-bas de la joue antérieure.

Ce tuyau, qui est en cuivre, d'un pouce de diamètre, a été ajusté à frottement avec de la filasse dans le trou ω, représenté *fig.* 4 et 7.

L'eau tombant de l'appareil en *c*, en *b*,*b*, et quelquefois aussi un peu par le joint des deux moitiés de la poulie, est reçue sur une pièce légère en cuivre *gghh*, de forme conique, calée en *hh* sur l'arbre de couche, avec quelques morceaux de bois que l'on recouvre de filasse et de suif, de manière que l'eau ne puisse pas pénétrer entre les cales. Comme il n'y a là aucune pression, il est très-facile d'empêcher qu'il passe une goutte d'eau le long de l'arbre de couche, au-dessous de *hh*. La pièce *gghh* (voyez *fig.* 27) est composée de deux parties réunies avec des boulons et écrous. Elle est consolidée en *hh* par un petit collier en fer, formé également de deux parties.

Quand le moteur est en mouvement, le système, comprenant le bassin *ee* (*fig.* 24), la lanterne en fonte et la pièce *gghh* tourne avec l'arbre de couche *ii*. Toutes les eaux écartées de l'arbre jusqu'à la circonférence *gg* par la pièce *gghh*, sont recueillies dans un bassin circulaire semblable au bassin *ee*, avec cette seule différence qu'il est plus grand ; ce bassin ne tourne pas avec l'arbre, il est posé sur des supports fixes *s*,*s*, et l'eau s'en échappe par le tuyau *m*, ajusté avec une bride au fond du bassin.

Ici le bras de levier ne peut que rarement être équilibré, comme dans le cas d'un arbre horizontal, les localités s'opposant presque toujours d'une manière absolue à l'emploi d'un frein dont le centre de gravité se trouverait dans l'axe de l'arbre de couche. J'emploie ordinairement le frein tel qu'il a été décrit ci-dessus, et sans rien changer au bras

de levier, dont l'arc $v'v'$ (*fig.* 10) est alors placé dans un plan horizontal. On a seulement le soin, tant que l'appareil ne fonctionne pas, de soutenir cet arc de cercle dans sa position, parce que les écrous ne devant pas être serrés à l'avance pour permettre facilement la mise en marche du moteur, le levier se dérangerait sans cette précaution. Le poids ψ, qui dans le cas d'un arbre horizontal servait à équilibrer le bras de levier, n'est pas employé ici, et c'est une raison de plus pour que l'on soit presque toujours obligé d'avoir recours aux deux plateaux mentionnés dans le cas précédent. L'appareil est alors disposé comme on le voit en plan, *fig.* 10, et en projection verticale, *fig.* 28.

La corde φ demeurant tangente à l'arc $v'v'$, qui termine le bras de levier, vient passer sur la poulie χ et s'attacher au plateau a, destiné à recevoir le poids P. Une seconde corde ρ est attachée au même plateau a, et, passant sur la poulie χ dans une deuxième gorge (cette poulie est représentée *fig.* 29), retombe verticalement pour supporter le plateau b.

Avant de commencer l'expérience, on équilibre les deux plateaux, en tenant compte de l'effet du poids de la corde φ, le bras de levier étant dans une position moyenne entre les oscillations qui lui seront permises, puis on met dans le plateau a le poids P, que l'on fait varier à volonté, selon les expériences à faire, et, de plus, on place dans chacun des plateaux a et b un même poids pour rendre l'appareil moins *volage*, ainsi qu'on l'a déjà dit, dans le cas d'un arbre de couche horizontal. Ici l'emploi de la poulie est à peu près indispensable. On pourrait toutefois la remplacer par une sorte de balance à fléau coudé, mais qui, à

moins de dépenses assez fortes, serait meilleure en théorie qu'en pratique.

Pour apprécier l'erreur due à l'emploi que j'ai indiqué d'un bras de levier dont le centre de gravité ne se trouve pas dans l'arbre de couche lorsqu'il est vertical, supposons, *fig.* 30, que

Appréciation de l'erreur due à l'emploi d'un bras de levier non équilibré, l'arbre de couche étant vertical.

$ab = l$ est l'axe de l'arbre de couche;

a le coussinet qui retient l'arbre à la partie supérieure;

b la crapaudine qui reçoit son extrémité inférieure;

d le point où le frein est ajusté;

$de = m$ la longueur du bras de levier du frein.

Supposons que les deux extrémités du bras de levier étant posées horizontalement sur un plateau de balance, il faille un poids q pour équilibrer l'extrémité d, et un poids t pour équilibrer l'extrémité e.

Le bras de levier agira par son poids sur l'arbre de couche, comme feraient les deux forces q et t appliquées la première en d, la seconde en e.

L'action de la force q peut évidemment être négligée, de même que celle du poids de la lanterne et de l'eau qu'elle contient.

Quant à la force t, agissant au bout du bras de levier m, elle donnera lieu, en a et en b, à des pressions auxquelles feront équilibre les résistances x égales et opposées, satisfaisant à la condition

$$lx = mt \quad \text{d'où} \quad x = \frac{m}{l}\,t.$$

Un bras de levier, construit comme je l'ai dit ci-dessus, et pour lequel la force t est égale à 50 kilog., est d'une solidité plus que suffisante pour

mesurer le maximum d'effort qu'on puisse absorber avec l'appareil que j'ai employé.

Mettant ce nombre à la place de t dans la valeur de x, il vient

$$x = \frac{m}{l}\, 50 \text{ kil.}$$

Si l'on admet avec Coulomb, dans sa *Théorie des machines simples*, que, dans le cas dont il s'agit, le frottement ayant lieu entre des tourillons de fonte et des coussinets de cuivre enduits de vieux oing, le rapport de la pression au frottement est environ égal à 8.

On conclura que les pressions x donneront lieu, lorsque l'appareil sera en mouvement, à des frottements ou résistances agissant tangentiellement aux tourillons, et égales à $\frac{m}{l} \times \frac{50}{8}$ kil. à chacun des points a et b.

Ces forces étant ainsi connues, approximativement à la vérité, mais d'une manière suffisante pour l'objet que nous avons en vue, il suffit de multiplier chacune d'elles par la vitesse, pour avoir la quantité d'action qu'elle produit; en ajoutant ensemble les produits, on aura la force perdue par l'effet de la pesanteur sur le bras de levier.

Or, si r' est le rayon commun des tourillons et de la crapaudine;

Si n est le nombre de tours par seconde;

La vitesse étant $2\pi r'n$;

Et la somme des deux forces ayant pour expression

$$2 \times \frac{m}{l} \times \frac{50}{8}.$$

La quantité d'action totale perdue sera

$\pi r'n \times \frac{m}{l} \times 25$ kilogrammètres. Dans la pratique, en remplaçant dans cette formule r', n, m et l, par leurs valeurs, je n'ai jamais trouvé que cette perte s'élevât au delà de quelques centièmes de la force d'un cheval; on peut donc en général la négliger.

Une autre erreur plus importante est celle qui est due à l'emploi de la poulie χ. Mais on peut toujours la mesurer avec une exactitude suffisante. En effet, dans le cas d'un arbre de couche horizontal (*fig.* 9), la poulie supporte le double du poids qui tend la corde φ; si donc, après l'expérience faite, on détache cette corde du bras de levier, et si on suspend à l'extrémité devenue libre un poids capable d'équilibrer celui qui est demeuré suspendu à l'autre extrémité, la poulie se retrouvera chargée exactement comme pendant l'expérience. Si alors on détermine le poids p, qu'il est nécessaire d'ajouter, soit d'un côté, soit de l'autre, pour mettre la poulie χ en mouvement, on aura exactement la résistance opposée pendant l'expérience aux manœuvres du frein par la roideur de la corde φ, et par le frottement des tourillons de la poulie χ; dès lors l'erreur due à ces causes, et que l'on pourra avoir commise en appliquant les données de l'expérience à la formule du frein, sera déterminée par l'équation

$$M = 2\pi n p R.$$

Dans le cas d'un arbre de couche vertical (*fig.* 28), on détermine le poids p en attachant au plateau b l'extrémité de la corde φ, détachée de $v'v'$, et chargeant ce plateau du poids nécessaire pour faire équilibre au plateau a. En opérant comme précédemment pour déterminer p, on obtient un maximum, car, dans l'expérience du frein, la

corde φ, formant un angle droit sur la lanterne, pressait moins fort sur les tourillons que dans la position actuelle.

Dans tous les cas, je pense qu'on peut adopter pour la valeur de p le poids le plus faible, capable d'imprimer au système un mouvement si lent qu'il soit, pourvu que ce mouvement une fois commencé ne s'arrête plus de lui-même.

J'ai fait une série d'expériences pour connaître approximativement *à priori* la valeur de ce poids p selon les différents cas; et j'ai reconnu, en suspendant deux plateaux de balance aux extrémités d'une bonne corde de huit lignes de diamètre, passant sur la lanterne représentée *fig.* 29, que si l'on place successivement dans chaque plateau deux poids égaux de

40[kil.]		0,75
50		
60		1,25
70		
80		1,50
90		
100		1,75
110		
120		2,00
130		
140	Le poids p nécessaire pour rompre l'équilibre prend successivement les valeurs de	2,25
150		
160		2,50
170		
180		3,00
190		
200		3,25
210		
220		3,50
230		
240		3,75
250		
260		4,00

Comme il est d'usage de désigner la force d'une machine motrice quelconque par un certain nombre de chevaux (le cheval représentant une force capable d'élever 75 kilog. à un mètre de hauteur par seconde), il sera commode dans les applications de transformer la formule

$$M = 2\pi n PR,$$

et si l'on observe que

$$M = 75X.$$

X étant le nombre des chevaux que donne la machine,

Et que N étant le nombre de tours par minute de l'arbre de couche portant le frein, on a

$n = \frac{N}{60}$. La formule ci-dessus deviendra, en remplaçant également π par sa valeur,

$$X = 0{,}001396 NPR \ldots\ldots (a),$$

dans laquelle formule P est exprimé en kilogrammes, et R en mètres.

La méthode que l'on emploie pour déterminer N est très-importante pour l'exactitude des résultats, surtout quand le moteur dont on mesure la force est une machine à vapeur.

Si l'on adopte pour la valeur de N une moyenne prise sur quelques minutes seulement, ou même sur un quart d'heure, on reconnaît, ainsi qu'il a été dit, qu'en répétant plusieurs fois chaque expérience, toutes choses étant égales d'ailleurs, autant qu'il est possible de les maintenir dans la pratique, on obtient des variations notables dans la valeur de N; la valeur de X est par

suite rendue variable et contenue entre des limites assez écartées (1).

Si, au contraire, on adopte pour N une moyenne prise sur deux ou trois heures consécutives, et que l'on continue ensuite pendant un temps égal, toutes choses égales d'ailleurs, on arrivera pendant la seconde période à un résultat presque identique avec le premier.

Cette fixité dans les indications du frein semble annoncer déjà d'une manière assez précise que ces indications sont suffisamment justes ; au reste, il suffit de récapituler les diverses causes d'erreur que nous avons signalées pour apprécier le maximum de l'erreur totale possible, et l'on verra que ces limites sont assez rapprochées pour que les résultats obtenus à l'aide du frein précédemment décrit ne puissent pas être contestés par les praticiens.

En effet, quand l'appareil est bien manœuvré, les seules causes d'erreur appréciables sont :

Total maximum des erreurs que l'on peut commettre en manœuvrant convenablement le frein.

1° La non concordance du centre de gravité du collier du frein avec l'axe de l'arbre de couche (dans tous les cas où cette concordance ne peut pas avoir lieu).

2° Le frottement sur son axe de la poulie χ, *fig.* 9 et 28, et la roideur des cordes employées.

Sur la première de ces causes, nous avons vu qu'on pouvait toujours disposer l'appareil de telle

(1) Si l'on ne faisait fonctionner le frein que pendant une fraction de minute, comme cela est arrivé à quelques expérimentateurs, on pourrait faire donner à une machine une force plus que double de sa force normale, à cause de la puissance accumulée dans le volant.

sorte que la variation de la plus courte distance, mesurée horizontalement entre l'axe de l'arbre de couche et le centre de gravité du collier, ne fût que de $\frac{1}{55}$ de cette longueur. Or, d'après ce qui a été dit sur le poids ψ, il est facile de voir que si ce poids est juste pour la position horizontale du bras de levier, il deviendra trop fort de $\frac{1}{55}$ dans les positions extrêmes, et comme sa pesanteur maximum est de 40 kilog, quand le bras de levier est bien fait, il causera au maximum une erreur due à un poids de $\frac{40}{55} = 0^k,726$, agissant à l'extrémité du bras de levier du frein, et ce maximum sera réduit de moitié si, après avoir déterminé le poids ψ comme il a été dit, on le diminue de $\frac{0^k,726}{2} = 0^k,363$.

Quant à l'erreur causée par le frottement de la poulie χ et la roideur des cordes, elle est due au poids p mentionné ci-dessus, et dont les diverses valeurs, selon les cas, sont indiquées dans le tableau page 102. On peut donc l'apprécier *à priori*, ce qui ne doit pas dispenser toutefois d'une vérification dans chaque expérience.

L'ensemble des causes d'erreur produit donc l'effet d'un poids égal à p augmenté de $0^k,363$ au maximum, et agissant pendant l'expérience, soit dans un sens, soit dans l'autre, à l'extrémité du bras de levier du frein. En introduisant dans la formule (a) cette valeur du poids agissant à l'extrémité du bras de levier, on obtiendra la limite de l'erreur commise dans chaque cas. Si la vitesse de l'arbre de couche est de 28 tours par minute, comme cela a lieu le plus souvent dans les machines à vapeur, que le bras de levier du frein soit de 4 mètres, et que les forces à mesurer soient successivement 10, 20, 30 chevaux, on pourra adopter

pour p les valeurs 1,60; 2,10; 2,40, et par conséquent le maximum des erreurs possibles sera de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$ de cheval environ.

Pour que ces résultats indiquassent l'erreur réelle commise dans les expériences, il faudrait que les causes d'erreur eussent toujours agi dans le même sens, ce qui est inadmissible, par le fait même des oscillations du bras de levier.

Il est évident qu'à la fin d'une expérience de plusieurs heures, le nombre et l'étendue totale des oscillations ascendantes du bras de levier sont sensiblement égaux au nombre et à l'étendue totale des oscillations descendantes : or, le poids p, qui en apparence est de beaucoup la principale cause d'erreur, agit toujours, pendant les oscillations ascendantes, en sens contraire de celui où il agit pendant les oscillations descendantes. Si donc la durée totale T des unes était égale à la durée totale T' des autres, on pourrait conclure avec justesse que le poids p n'a pas altéré les résultats. Si T n'est pas égal à T', l'erreur due au poids p, calculée comme nous l'avons dit à l'aide de la formule (a), devra, pour devenir exacte, être multipliée par le coefficient $\frac{T-T'}{T+T'}$, qui sera toujours une fraction extrêmement petite. Par conséquent, en réalité les résultats obtenus à l'aide du frein sont beaucoup plus exacts que ne semblent l'annoncer les erreurs maxima indiquées ci-dessus.

Je pense qu'en général il est facile de mesurer avec le frein la force d'un moteur à moins d'un cinquantième près.

Compteur employé pour déterminer N.

Je me sers depuis un an, pour déterminer N, d'un compteur qu'on fixe avec des vis sur une planche posée à deux ou trois mètres de l'arbre

de couche; le mouvement est transmis de l'un à l'autre par une corde sans fin, passant sur deux poulies en cuivre de même diamètre, dont l'une, composée de deux pièces, est ajustée sur l'arbre de couche; tandis que l'autre est montée sur un petit arbre, faisant partie du compteur. La gorge de chaque poulie est évidée en forme de coin, et le fond est garni de petites pointes d'acier, en sorte qu'il est impossible que le moindre glissement de la corde ait lieu, et que les deux poulies ne fassent pas le même nombre de tours l'une que l'autre, tant que la corde qui les lie est suffisamment tendue. On maintient cette tension d'une manière très-commode à l'aide d'une petite poulie non fixée, appuyant sur la corde, et à laquelle on suspend un poids de quelques livres. Cette précaution est nécessaire pour que l'on ne soit pas exposé à être arrêté dans une expérience.

L'arbre de la poulie du compteur faisant le même nombre de tours que l'arbre de couche qui porte le frein, communique le mouvement à l'aide de deux petites lanternes de 12 chevilles, et de deux roues d'engrenage de 120 dents à un autre arbre du compteur, portant une aiguille et faisant un tour pour cent de l'arbre de couche. L'aiguille tourne sur un cadran divisé en 100 parties; elle parcourt donc une division quand l'arbre de couche de la machine fait un tour, et elle peut indiquer tous les nombres compris entre zéro et cent.

Le compteur offre un second cadran en tout semblable au premier, et sur lequel tourne aussi une aiguille qui est liée avec la première par des engrenages pareils à ceux qui transmettent le mouvement du premier arbre du compteur à la

première aiguille. La seconde marche donc cent fois moins vite que l'autre, et parcourt une seule division (un centième de tour), quand celle-ci fait une révolution entière. L'inspection des deux cadrans donne ainsi pour chaque instant, sur le second, le nombre de centaines de tours faits par l'arbre de couche de la machine motrice, et, sur le premier, le nombre de tours faits en sus du nombre rond de centaines.

Les engrenages ayant tous été faits avec beaucoup de justesse, en acier fondu et en bronze, dans le compteur, ses indications sont parfaitement nettes et exactes.

Les aiguilles sont mobiles à frottement dur sur les arbres qui les portent, en sorte qu'on peut facilement les ramener à zéro au commencement de chaque expérience, et il n'y a cependant pas à craindre qu'elles se dérangent ensuite d'elles-mêmes.

Je note le temps écoulé pendant les observations, en employant une montre *dite d'ingénieur*, à double cadran, renfermant deux mouvements indépendants l'un de l'autre et marquant les secondes. L'un d'eux s'arrête et repart à volonté à l'aide d'un arrêt mobile.

Les aiguilles de celui-ci sont mises à midi au commencement de chaque expérience, en sorte qu'on y lit d'un coup d'œil à chaque instant le temps écoulé depuis le commencement de l'expérience. Le second cadran, marquant l'heure du jour, offre toujours les moyens d'une rectification facile dans le cas où l'on aurait fait une erreur en notant l'heure indiquée par le premier.

Mesure de la force et de la consommation en charbon d'une machine à vapeur.

Ces divers instruments étant en place et prêts à fonctionner, si j'opère sur une machine à vapeur dont on demande à connaître en même temps la force totale et la consommation en combustible par force de cheval et par heure, je charge les soupapes de la chaudière, après vérification de leur bon état, de manière qu'elles se soulèvent au moment où la vapeur atteint la tension marquée par le timbre que porte cette chaudière.

Charge des soupapes de la chaudière.

Les poids nécessaires sont donnés par la formule

$$C=0,811\left[\frac{D^2+d^2}{2}(n-1)-\frac{D^2-d^2}{2}\right] \quad (1)$$

dans laquelle C = la charge directe sur chaque soupape.

D = le diamètre du bord extérieur de la zone de contact.

d = le diamètre de l'orifice fermé par la soupape.

n = le numéro du timbre que porte la chaudière.

La charge directe étant connue, on calcule le poids à suspendre au bout du bras de levier, dit romaine, en tenant compte du rapport inverse des bras de levier et de la charge directe exercée sur la soupape par le propre poids de la romaine; il est facile de mesurer immédiatement cette dernière charge par expérience, à l'aide d'un peson pouvant indiquer les quarts de livre.

---

(1) M. Tremery, ingénieur en chef des mines, a eu la bonté de me communiquer cette formule, qui est le résultat de 1,800 expériences faites avec grand soin, sur le rapport qui existe entre la pression dans la chaudière et la charge nécessaire sur les soupapes de cette chaudière.

Je fais ensuite monter la vapeur jusqu'à ce que les soupapes commencent à souffler notablement; on remarque le point où se trouve alors le mercure du manomètre, et l'on a soin d'y maintenir la vapeur autant que possible pendant toute la durée des expériences. De cette manière, presque tous les manomètres que l'on trouve sur les lieux peuvent donner des indications d'une justesse suffisante, quelqu'inexacte que soit leur division.

Je calcule *à priori* la pesanteur du poids P, quand les données suffisantes sont connues d'avance, ou je la détermine directement à l'aide d'expériences préliminaires, puis je procède à l'expérience définitive.

Consommation en comptant ou ne comptant pas la mise en feu.

Les industriels qui achètent des machines à vapeur, et ceux qui en construisent, ne s'entendent pas ordinairement sur la manière de mesurer la quantité de charbon consommée par ces machines. Les derniers veulent que l'on tienne compte seulement de la quantité de combustible qu'il faut brûler pendant chaque heure de travail pour entretenir la machine déjà en pleine marche; les autres, qui la plupart du temps n'emploient leurs machines que pendant 12 à 15 heures par jour, pensent qu'il est juste, pour avoir la consommation en charbon de la machine par heure, de diviser la quantité totale de charbon brûlée par jour par le nombre d'heures de travail réel de la machine; ils entendent ainsi que l'on doit tenir compte de la quantité de charbon employée pour mettre la machine en train.

Sans chercher à résoudre cette question, dont la solution doit dépendre des usages locaux ou des conventions arrêtées entre les parties, je dirai comment j'arrive à trouver la consommation dans tous les cas.

La condition importante à remplir pendant l'expérience est de bien mettre la machine dans les circonstances ordinaires de sa marche.

Tout le monde sait qu'une machine, qui ne fonctionne que six jours par semaine et chôme le dimanche, brûle beaucoup plus de charbon le lundi que les autres jours : la mise en feu, ou quantité de charbon nécessaire pour faire monter la vapeur au point voulu avant de mettre en marche, est quelquefois plus que doublée, et la consommation pendant les premières heures de marche est aussi plus forte qu'à l'ordinaire.

Si donc on voulait avoir exactement la quantité de charbon que brûle une machine dans un jour ordinaire, il faudrait qu'après l'avoir fait fonctionner la veille jusqu'à l'heure habituelle, on commençât les expériences définitives le lendemain à l'heure ordinaire du travail, et qu'on les continuât jusqu'au soir, comme dans le travail de tous les jours. Mais dans la plupart des cas il est inutile d'opérer avec cette rigueur presque mathématique, et l'on obtient une approximation très-suffisante en opérant comme il suit.

Les expériences ont ordinairement lieu le dimanche pour ne pas déranger les travaux des établissements; le frein et tous les accessoires ont été montés pendant les deux nuits qui précèdent, ce qui n'a pas empêché la machine de fonctionner pendant le jour jusqu'à l'heure habituelle. Le dimanche, vers sept ou huit heures du matin, tout est prêt et l'on commence les expériences préliminaires pour déterminer P. Vers midi ce poids étant connu à très-peu près, le fourneau étant chauffé comme dans le travail de tous les jours, et le frein fonctionnant avec ce poids P depuis

environ une heure, je commence l'expérience définitive sans arrêter la marche de l'appareil. J'examine avec soin l'état du feu sur la grille au moment où il devient nécessaire d'ajouter du charbon pour entretenir la vapeur au degré voulu dans la chaudière, et je fais prendre le charbon qu'on va employer dans un tas préparé à l'avance et déterminé approximativement de manière à suffire à la consommation pendant une heure environ. Ce charbon a été pesé exactement, et quand il est épuisé on le remplace par une pesée nouvelle, jusqu'à la fin de l'expérience, en tenant note de l'heure à laquelle on entame chaque pesée.

Au moment où commence l'emploi du charbon pesé, je mets les aiguilles du compteur à zéro, et je laisse partir le mouvement du cadran, qui sur ma montre peut s'arrêter à volonté. Aussitôt après je note la hauteur du manomètre et celle du flotteur, dont j'ai eu soin de vérifier préalablement le bon état, et je veille pendant toute la durée de l'expérience à ce que l'un et l'autre varient le moins possible. Enfin j'ai soin de ne terminer que lorsque toutes les circonstances de pression, etc., etc., sont à peu près les mêmes qu'au commencement.

Quelques constructeurs de machines préfèrent ne pas alimenter constamment la chaudière et ne le faire que de demi-heure en demi-heure : cela est indifférent quand on opère pendant plusieurs heures.

De dix en dix ou de quinze en quinze minutes, j'observe le nombre de tours faits par l'arbre de couche depuis le commencement, la hauteur du manomètre et l'état du flotteur.

J'inscris à mesure les résultats sur un tableau portant un numéro d'ordre pour chaque série d'observations et disposé comme ci-dessous.

Tableau des notes à prendre pendant une expérience.

a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*	*k*
Numéros d'ordre.	Heure du jour.	Nombre de minutes écoulées depuis le commencement de l'expérience.	Nombre de tours faits par l'arbre de couche depuis le commencement de l'expérience.	Indications du manomètre.	Hauteur du flotteur.	Valeur de P.	Valeur de N calculée sur le temps écoulé et le nombre de tours faits depuis le commencement de l'expérience.	Valeur de N calculée sur le temps écoulé et le nombre de tours faits entre une observation et l'observation précédente.	Charbon brûlé depuis le commencement de l'expérience.
1									
2									
3									
etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.

Il n'est besoin d'entrer dans aucune explication relativement aux colonnes *a*, *e*, *f*, les nombres inscrits dans les colonnes *b* et *c* sont lus immédiatement sur les deux cadrans de la montre ci-dessus indiquée, et leur comparaison faite à mesure qu'on les inscrit, permettant de les vérifier l'un par l'autre, n'admet pas d'erreur possible.

Pour plus de promptitude dans les calculs on n'inscrit dans ces colonnes que des nombres entiers de minutes.

La colonne *d* ne contient également que des nombres entiers de tours de l'arbre de couche, excepté quand celui-ci a un mouvement très-lent. Il est toujours facile, même dans les mouvements les plus rapides que puisse admettre la manœuvre du frein (1), de lire le nombre exact à moins d'une demi-unité près, ce qui est une approximation plus que suffisante.

Quant à la colonne *g*, la valeur de P y reste constante pendant toute la durée d'une expérience, mais on peut faire plusieurs opérations de suite en faisant varier cette valeur, et sans arrêter l'appareil, c'est ce qui a lieu surtout dans les expériences préliminaires. (Ces expériences ne doivent inspirer toute confiance que lorsqu'elles ont durée au moins une heure.)

La colonne *h* renferme des nombres dont

---

(1) Dans les expériences que j'ai faites, la vitesse de rotation de l'arbre portant le frein, a toujours été comprise entre six et quarante tours par minute. Je ne sais pas jusqu'à quelle limite on pourrait opérer. Plus la vitesse est grande et moins il est facile de maîtriser les oscillations du bras de levier.

chacun est le quotient des deux nombres qui, se trouvant dans la même bande horizontale que lui, sont aussi respectivement dans les colonnes *c* et *d*.

L'examen des nombres de la colonne *i* fait voir les erreurs que l'on commettrait en admettant pour N des réduites portant sur dix ou quinze minutes seulement d'observation (1).

Enfin l'on inscrit dans la colonne *k* l'heure où l'on entame et celle où l'on finit chaque pesée de charbon.

Quand une machine motrice est en bon état et qu'elle a fonctionné les jours précédents, la valeur de N, prise dans la colonne *h*, après une heure de marche ne varie plus jusqu'à la fin de l'expérience que d'un à deux dixièmes; souvent elle reste constante tandis qu'on observe des variations considérables dans les nombres de la colonne *i*.

Quant à la colonne *k*, en comparant entre elles les heures où il a fallu entamer chaque pesée de charbon, on reconnaît qu'au bout de deux heures les variations sont à peine de cinq minutes pour la durée de chacune d'elles, en sorte qu'il suffit d'opérer pendant quatre heures consécutives pour avoir une réduite extrêmement voisine de la vé-

(1) Dans une expérience que j'ai faite sur une machine à vapeur pendant six heures consécutives, la valeur de N, prise dans la colonne *i*, a varié de $6^{\text{tours}},8$ par minute à $9^{\text{tours}},6$: ce qui faisait varier la valeur de X de $6^{\text{chev.}},41$ à $9^{\text{chev.}}.05$. A la vérité la tension de la vapeur avait éprouvé des changements notables, mais il n'avait pas été possible au chauffeur de les empêcher, probablement à cause de la fausseté des indications du manomètre, qui était très-imparfait. La valeur de N, prise dans la colonne *h* pour la même expérience, n'a plus varié que de deux dixièmes de tour après deux heures de marche

rité. J'ai prolongé plusieurs opérations pendant sept heures consécutives, et j'ai toujours trouvé que les réduites, prises sur tout ce temps pour la force et la consommation de la machine d'épreuve, étaient les mêmes que les réduites, prises sur les quatre premières heures. Des opérations, bien conduites pendant quatre heures consécutives, suffisent donc toujours pour déterminer d'une manière exacte la force et la consommation d'une machine à vapeur.

La consommation qu'on obtient ainsi est celle qui est nécessaire sans tenir compte de la mise en feu. On détermine à part cette mise en feu si cela est utile, en arrêtant un jour la machine à l'heure ordinaire, toutes choses étant dans leur état habituel, et le lendemain matin, faisant allumer le feu également à l'heure ordinaire, et notant la quantité de charbon nécessaire pour faire remonter la vapeur jusqu'au point où elle doit être arrivée pour la marche régulière de la machine.

Comme chacun sait, le nombre de chevaux de force que doit donner une machine en bonne marche n'est pas toujours l'effet utile maximum absolu qu'elle puisse produire. Son effet utile peut varier dans des limites très-étendues, selon la quantité de charbon qu'on lui fait consommer, et le frein sert à déterminer, non-seulement l'effet utile donné par la machine dans chaque cas où on veut la placer, mais encore la quantité de charbon qu'il faut brûler dans chacun de ces cas.

La plupart du temps, la vitesse normale d'une machine à vapeur est indiquée à l'avance, ainsi que le nombre de chevaux que celui qui l'a construite s'est engagé à fournir. Et il s'agit de déter-

miner, 1° si la machine peut bien fonctionner en donnant cette force; 2° quelle quantité de charbon lui est nécessaire pour satisfaire à cette condition. On peut alors supprimer les essais préliminaires et charger immédiatement les plateaux du frein de la manière convenable, ce qui abrège de beaucoup les opérations.

Sachant mesurer avec le frein la force totale d'un moteur, il est facile de concevoir comment dans tous les cas on arrive à trouver :

Problèmes principaux que l'emploi du frein permet de résoudre.

1° Quelle est la puissance d'un moteur;

2° Quelle partie de cette puissance est absorbée par telle machine qu'il met en mouvement;

3° Quelle partie de cette puissance reste disponible s'il y a un excès de force.

Enfin à cette énumération des résultats auxquels on arrive à l'aide du frein on peut ajouter:

4° Qu'il sert à obtenir par expérience directe la quantité de charbon que brûle une machine à vapeur, par heure et par force de cheval, dans toutes les circonstances où elle peut être placée.

Cas où l'on peut faire construire un frein à peu de frais.

Le frein que j'emploie est un appareil assez dispendieux à faire construire, parce que j'ai cherché à ce qu'il pût être employé à peu près dans toutes les localités du département de la Seine-Inférieure; et que j'ai regardé comme une condition essentielle qu'il ne donnât lieu à aucune malpropreté dans l'intérieur des ateliers où il serait employé.

Mais, si l'on ne tenait pas à ces conditions, il serait facile d'en établir un dans un cas donné pour une somme de 300 à 500 fr. si la force à mesurer ne dépassait pas 40 à 50 chevaux, et surtout si les localités permettaient de faire couler d'une seule pièce la lanterne en fonte sur laquelle s'o-

père le frottement. On peut alors donner à cette lanterne la forme d'une simple roue ou poulie en fonte, dont le moyeu est réuni à la circonférence par quatre bras. Quand on fait fonctionner l'appareil, on graisse comme à l'ordinaire la surface extérieure de la lanterne et l'on dirige le jet de la pompe à incendie contre la partie intérieure de cette surface. Un seul homme suffit encore dans ce cas pour manœuvrer la pompe. L'eau rejaillit de toutes parts contre les bras et la surface intérieure du pourtour de la lanterne, mais il n'en arrive pas assez entre la surface extérieure et les mâchoires du collier pour empêcher le frottement d'être doux et régulier.

J'ai fait plusieurs expériences de cette manière et elles ont toujours bien réussi.

Quand les localités le permettent il vaut mieux augmenter que diminuer le diamètre de la lanterne du frein.

Si l'on pouvait donner à cette lanterne 80 à 90 centimètres de diamètre au moins, et qu'il fût nécessaire de la former de deux pièces, on supprimerait les oreilles que j'ai placées sur les joues, et on y suppléerait par des boulons ajustés convenablement à l'intérieur pour réunir les deux parties de la lanterne.

Cette disposition permettrait de lui donner plus de légèreté, et de disposer, d'une manière plus simple que celle que j'ai adoptée, les appareils pour l'entrée de l'eau dans la lanterne et pour sa sortie; mais, ainsi que je l'ai dit, j'avais pour but essentiel de construire un frein qui pût être employé dans toutes les localités du département de la Seine-Inférieure, et j'aurais de beaucoup restreint son emploi en augmentant le diamètre de la lanterne que j'ai fait faire.

EXPLICATION DES PLANCHES III et IV.

FIGURE 1.

Projection des parties principales de l'appareil sur un plan perpendiculaire à l'arbre de couche.

a Section de l'arbre de couche par le plan sur lequel est faite la projection.

b b Circonférence de cercle qui limite la face ou joue antérieure de la lanterne.

c c Circonférence de cercle qui limite la face ou joue postérieure de la lanterne.

d d Espace vide ménagé sur chacune des joues de la lanterne; cet espace est assez large, quand les deux moitiés de la lanterne sont réunies, comme sur la figure, pour permettre le passage d'un arbre de couche en fer ou en fonte, transmettant la force de quarante chevaux avec une vitesse de vingt-cinq à trente tours par minute.

e e Trace du plan de jonction des deux moitiés de la lanterne; ce plan passe par l'axe de l'arbre de couche.

f, f, f, f Quatre oreilles servant à réunir invariablement les deux moitiés de la lanterne, à l'aide des boulons et écrous *g, g, g, g*; la face postérieure de la lanterne porte quatre autres oreilles entièrement semblables à celles-ci.

g, g, g, g Quatre boulons et écrous qui réunissent les oreilles *ffff*; il y en a quatre autres semblables à la face postérieure.

h h Bord extérieur d'un renflement en forme de moyeu existant intérieurement et extérieurement sur chaque joue de la lanterne, pour mieux résister aux cales.

i, i, i, i Quatre ouvertures pratiquées dans la joue antérieure de la lanterne; elles servent à permettre l'introduction de l'eau dans son intérieur pendant la marche de l'appareil.

La joue postérieure est entièrement pleine, sauf l'ouverture *dd* et le trou ω.

k,k,k,k Cales dont la grosseur varie selon le diamètre de l'arbre de couche ; ce sont les seules pièces qu'il faille faire exprès pour chaque opération. Elles ont cinq à six pouces de longueur : il y en a quatre pour chaque joue de la lanterne. La moitié seulement de chaque côté doit être en fer, les autres sont en bon bois de chêne.

ll Une des mâchoires du frein, ou large coussinet en bois de hêtre, embrassant un peu moins que la moitié de la surface cylindrique extérieure de la lanterne. C'est une des parties du collier qui opère le frottement.

mm Trace de la surface cylindrique extérieure de la lanterne, sur laquelle a lieu le frottement du collier.

nnn Seconde mâchoire du frein. Elle est composée de voussoirs en bois de hêtre, formant un second coussinet qui, réuni au premier par la bande de fer *qqq*, complète le collier. Depuis l'exécution du dessin, j'ai fait rogner la partie extérieure de ces voussoirs, de manière qu'ils ne débordent plus la bande *qqq*.

ooo Arc de cercle en fer destiné à relier les voussoirs *n, n, n* entre eux.

pp Arc de cercle, *Idem*, *Idem*, *Idem*.

qqq Bande de fer arrondie, et taraudée à ses deux extrémités *r, r*. Elle peut glisser librement dans deux rainures pratiquées aux extrémités du coussinet *ll*, en sorte qu'à l'aide des écrous *s, s*, on peut serrer à volonté les coussinets sur la surface extérieure de la lanterne.

r, r Parties taraudées de la pièce *q*.

s, s Ecrous à l'aide desquels on peut faire varier la pression des coussinets sur la lanterne.

t, t Pièces de fer fixées chacune avec un petit boulon et un écrou sur la pièce *q*, et ayant pour but d'empêcher le coussinet *nnn* d'être entraîné par le frottement lorsque la lanterne tourne avec l'arbre de couche.

u,u Sortes d'étriers en fer embrassant les pièces de bois qui forment le bras de levier du frein.

vv Bras de levier du frein. Il est ici formé par une seule pièce de bois de dimensions beaucoup plus fortes que celles que j'ai adoptées ensuite. Voyez *fig.* 13 à 15.

x,x Cales en bois pour serrer les pièces de bois *vv* et *y* dans les étriers *u,u*.

y Pièce de bois prolongée en sens inverse du bras de levier *vv*, et que j'avais pensé à employer pour équilibrer ce système, mais à laquelle j'ai renoncé en adoptant le bras de levier représenté *fig.* 13 à 15.

FIGURE 2.

Projection de l'appareil sur un plan parallèle à l'axe de l'arbre de couche et à la direction du bras de levier.

aa Arbre de couche.

bb Bord de la joue antérieure de la lanterne. Cette joue forme rebord sur la surface de frottement, de manière à maintenir les mâchoires du frein dans leur position.

cc Bord de la joue postérieure de la lanterne. Cette joue forme sur la surface de frottement un rebord large, élevé et creux. Son intérieur communique avec celui de la lanterne par une série de trous *w,w,w,* indiqués *fig* .4, et dont l'usage est expliqué *fig.* 24.

f,f Quatre oreilles appartenant à la même moitié de la lanterne.

g,g Huit boulons et écrous servant à réunir les deux moitiés de la lanterne.

hh Sorte de moyeu pour renforcer la joue *bb*. Il en existe un semblable à l'autre joue.

ll Mâchoire ou coussinèt supérieur en bois.

mm Surface cylindrique de frottement.

r,r Extrémités taraudées de la bande de fer servant à relier le collier du frein.

s,s Écrous pour serrer ou desserrer le collier.

u, u Sortes d'étriers en fer, etc. (voyez *fig.* 1).

vv Bras de levier du frein (voyez *fig.* 1).

x,x Cales en bois pour serrer les pièces de bois *v v* et *yy* dans les étriers *uu*.

yy Pièce de bois (voyez *fig.* 1).

FIGURE 3.

Coupe suivant la ligne AA (fig. 2) *par un plan perpendiculaire à l'arbre de couche, et projection sur le plan de la joue antérieure d'une des moitiés de la lanterne.*

bb Bord de la joue antérieure de la lanterne (voyez *fig.* 1).

dd Espace vide destiné à recevoir l'arbre de couche et les cales.

ee Ligne de jonction des deux moitiés de la lanterne.

ff, ff Deux des quatre oreilles d'une moitié de la lanterne. Elles portent deux goujons ou guides *f'*, *f'* un peu coniques, entrant, lorsqu'on réunit les deux moitiés de la lanterne, dans des trous pratiqués dans les oreilles opposées, afin que les trous des boulons se correspondent toujours bien exactement.

hh Renflement ou moyeu intérieur correspondant à la même partie des *fig.* 1 et 2.

i, i Ouvertures, indiquées *fig.* 1, vues du côté opposé.

mm Partie cylindrique de la lanterne. C'est sur elle que s'opère le frottement. Elle s'appuie par ses deux bases sur les joues de la lanterne.

z, z, z Trois côtes faisant corps à la fois avec le moyeu *h*, l'une des joues de la lanterne, et la partie cylindrique *m*. Elles ont pour but de soutenir la surface de frottement, et de donner au moyeu plus de force pour résister à la poussée des cales. Deux d'entre elles renforcent en outre le point d'attache des oreilles *ff*.

FIGURE 4.

Coupe suivant la ligne AA (fig. 2) *par le même plan que pour la figure précédente, et projection sur le plan de la joue postérieure d'une des moitiés de la lanterne.*

cc Bord de la joue postérieure (voyez *fig.* 2).
dd Espace vide pour le passage de l'arbre de couche et des cales.
ee Ligne de jonction des deux moitiés de la lanterne.
ff, ff Deux des quatre oreilles d'une moitié de la lanterne.
hh Renflement ou moyeu intérieur destiné sur la joue postérieure de la lanterne, au même usage que la partie semblable de la joue antérieure.
mm Partie cylindrique de la lanterne.
n, n, n Voussoirs en bois de hêtre venant appuyer sur *mm*.
oo Arc de cercle en fer pour relier les voussoirs *n, n*.
qqq Bande de fer à l'aide de laquelle on serre à volonté le collier du frein sur la lanterne.
t, t Pièces fixées sur la bande *qqq* et destinées à maintenir les voussoirs *n, n* dans une position invariable par rapport à la bande *q*.
z, z, z Trois côtes entièrement semblables à celle de la *fig.* 3.
w, w, w, w 20 trous qui mettent l'intérieur du bourrelet creux en communication avec l'intérieur de chaque moitié de la lanterne.
ω Trou percé dans la joue postérieure de la lanterne. Il est destiné à recevoir un tuyau dont l'usage est expliqué *fig.* 24.

FIGURE 5.

Coupe suivant la ligne BB (fig. 2) *de la partie supérieure de l'appareil.*

ll Coussinet en bois de hêtre indiqué *fig.* 1 et 2.

qq Bande de fer pour serrer le collier (voyez *fig.* 1, et 4).
r Partie taraudée de la bande *qq* (voyez *fig.* 1 et 2).
s Ecrou (voyez *fig.* 1 et 2).
uu Etrier en fer (voyez *fig.* 1 et 2).
v Bras de levier (voyez *fig.* 1 et 2).
x,x Cales en bois (voyez *fig.* 1 et 2).
y Pièce de bois (voyez *fig.* 1 et 2).

FIGURE 6.

Coupe suivant la ligne BB (fig. 2) *de la partie inférieure de l'appareil à partir de l'axe de la lanterne.*

b Bord de la joue antérieur de la lanterne (voyez *fig.* 1 et 2).
cc Sorte de bourrelet creux qui forme le bord circulaire de la joue postérieure de la lanterne (voyez *fig.* 1, 2 et 4).
c' Bande circulaire en fer ajustée avec des vis pour fermer à l'extérieur le bourrelet *cc*.
dd Espace vide pour le passage de l'arbre de couche (voyez *fig.* 1, 3 et 4).
ee Trace du plan de jonction des deux moitiés de la lanterne.
ff Deux des quatre oreilles d'une moitié de la lanterne.
hh,hh Renflements intérieurs et extérieurs formant comme un moyeu sur chaque joue de la lanterne.
mm Partie cylindrique de la lanterne.
nn Voussoir (voyez *fig.* 1 et 4).
o,o Deux arcs de cercle en fer, l'un desquels est indiqué *fig.* 1 et 4.
p,p Deux arcs de cercle en fer, l'un desquels est indiqué *fig.* 1.
qq Bande de fer pour serrer le collier (voyez *fig.* 1, 4 et 5).
t Pièce de fer pour fixer les voussoirs *nn* (voyez *fig.* 1 et 4).
z,z,z,z Côtes intérieures (voyez *fig.* 3 et 4).

FIGURE 7.

Joue postérieure de la lanterne, quand ses deux moitiés sont réunies.

cc Bourrelet creux régnant sans interruption autour de la joue de la lanterne (voyez *fig.* 1, 2, 4 et 6).

c'c' Bande circulaire en fer (voyez *fig.* 6).

dd Epace vide pour le passage de l'arbre de couche et des cales.

ee Trace du plan de jonction des deux moitiés de la lanterne (voyez *fig.* 1, 3, 4 et 6).

f,f,f,f Quatre oreilles servant à réunir les deux moitiés de la lanterne.

g,g,g,g Quatre boulons et écrous semblables à ceux indiqués *fig.* 1. servant à réunir les oreilles *f,f.*

hh Bord extérieur du renflement indiqué *fig.* 4 et 6.

ω Trou destiné à recevoir un tuyau dont l'usage est indiqué *fig.* 24.

FIGURE 8.

Projection d'une moitié de la lanterne sur un plan parallèle à la face de jonction.

Nota. Dans cette figure les hachures indiquent les parties qui se trouvent dans le plan de jonction.

bb Bord de la joue antérieure (voyez *fig.* 1, 2, 3 et 6).

ccc Bord de la joue postérieure (voyez *fig.* 1, 2, 4, 6 et 7.

c'c' Bande circulaire en fer (voyez *fig.* 6 et 7).

dddd Espace vide pour le passage de l'arbre de couche et des cales.

ee Face de jonction des deux moitiés de la lanterne.

f,f Quatre oreilles qui s'appliquent sur les quatre oreilles semblables de l'autre moitié de la lanterne pour réunir invariablement ces deux parties.

f',f Quatre trous un peu coniques pour recevoir les goujons (voyez *f',f*, *fig*. 3), fixés à l'autre moitié de la lanterne, et destinés à servir de guides quand on assemble l'appareil.

g,g,g,g Huit trous percés dans les oreilles pour donner passage à autant de boulons.

h,h Bords intérieurs et extérieurs des renflements indiqués *fig*. 1, 2, 3, 4, 6, 7.

mm Partie cylindrique de la lanterne.

z,z Six côtes intérieures (voyez *fig*. 3, 4, 6).

FIGURE 9.

Appareil complet dans le cas où l'arbre de couche, dont on mesure la force motrice, est horizontal.

Projection verticale sur un plan perpendiculaire à l'arbre.

a Section de l'arbre de couche.

a' Point où l'on place une petite barre de fer en forme de couteau pour équilibrer le collier.

bb Bord de la joue antérieure de la lanterne.

ll Mâchoire supérieure du frein.

MM Ligne horizontale passant par un des points de l'axe de l'arbre de couche.

nn Mâchoire inférieure du frein.

qq Bande de fer pour serrer les coussinets.

r,r Extrémités taraudées de la bande *qq*.

s,s Ecrous pour serrer le collier.

u,u Sortes d'étriers en fer (voyez *fig*. 1, 2, 5).

vv Bras de levier du frein.

v'v' Arc de cercle en bois, dont le centre est dans l'axe de la lanterne ; il porte sur toute sa longueur une petite gorge destinée à recevoir la corde *o*.

v''v'' Position du bras de levier du frein, quand on veut que le centre de gravité du collier se trouve dans la ligne MM. Dans ce cas, l'arc *v'v'* demeure tel qu'il est représenté, et le bras de levier est comme retourné.

y Pièce de bois (voyez *fig.* 1).

φ Corde agissant toujours tangentiellement à l'arc $\psi'\psi'$.

χ Poulie sur laquelle passe la corde φ ; elle est un peu moins grande que celle représentée *fig.* 29, que j'ai adoptée définitivement.

ψ Poids suspendu à l'extrémité de la corde φ.

FIGURE 10.

Appareil complet dans le cas où l'arbre de couche est vertical.

Projection horizontale sur un plan perpendiculaire à l'arbre.

Les annotations sont les mêmes que pour la *fig.* 9.

FIGURE 11.

Frein employé par M. de Prony.

Projection sur un plan perpendiculaire à l'arbre de couche.

a Arbre de couche.

b b Sorte de manchon pour donner plus de grosseur à l'arbre.

c, d Mâchoires du frein.

e Bras de levier du frein.

f Pièce semblable au bras de levier, et destinée à lui faire équilibre.

g,g, h,h Boulons et écrous pour serrer le collier.

m Point de suspension primitif de la corde destinée à supporter le poids P.

o n Arc de cercle en bois, dont le centre est dans l'axe *a*.

FIGURE 12.

Appareil équilibré à l'aide d'un fléau de balance, dans le cas d'un arbre de couche horizontal.

Projection verticale sur un plan perpendiculaire à l'arbre de couche.

a' Arbre de couche.

b' Lanterne du frein.

a et *b* Plateaux sur lesquels on place les poids nécessaires.

dd Fléau de balance.

c Couteau autour duquel le fléau oscille sur son support.

vv Bras de levier du frein.

FIGURES 13 A 15.

Fig. 13.	*Fig.* 14.	*Fig.* 15.
Coupe verticale dans le sens de la longueur	*Projection verticale sur un plan perpendiculaire à la direction principale*	*Projection horizontale*

du bras de levier que j'ai adopté, et que l'on exécute ordinairement sur place pour chaque expérience.

vv Planches en sapin ou bois blanc, de un pouce à dix-huit lignes d'épaisseur.

a,a Traverses pour maintenir l'écartement des pièces *vv*.

v'v' Deux planches d'un pouce d'épaisseur, dont le bord extérieur forme un arc de cercle décrit du point *d* comme centre ; souvent aussi il est décrit du point *d'* comme centre, et prend la forme *v'''v'''*. On construit ainsi le bras de levier quand on veut que sa position, intermédiaire entre les oscillations extrêmes, soit celle indiquée en *v'' v''*, *fig.* 9.

c,c Tasseaux pour maintenir les planches *v'*, *v'* à quatre ou cinq centimètres de distance l'une de l'autre.

b Traverse pour consolider la position relative des pièces *vv* et *v'v'*.

FIGURE 16.

Projection horizontale ou verticale, et coupe transversale d'un manchon en tôle pour calage de la lanterne, dans le cas d'un arbre de couche cylindrique.

a a Arbre de couche.

b b Manchon de tôle formé par deux pièces demi-cylindriques, s'ajustant sur l'arbre le plus exactement possible, et portant huit facettes planes *c*, destinées à servir de points d'appui aux cales de la lanterne. Les pièces *b b* doivent être ajustées de nouveau pour chaque arbre de couche dont on veut mesurer la force motrice.

c, c Facettes dressées sur le manchon *b b*, et sur lesquelles viennent s'appuyer les cales de la lanterne.

d, d Deux colliers formés chacun de deux pièces réunies par deux boulons; ils servent, à l'aide des cales *e, e*, à fixer le manchon *b b*.

e, e Cales pour fixer le manchon *b b* sur l'arbre *a a*. Ces cales, et les pièces *b b*, sont les seules qu'il faille modifier quand la grosseur de l'arbre de couche varie.

FIGURE 17.

L'explication de cette figure est dans le texte.

FIGURE 18.

Cas d'un arbre de couche horizontal.

Projections verticales, perpendiculaires et parallèles à l'arbre de couche, de l'enveloppe en toile servant à recueillir les eaux.

a Arbre de couche.

b b b Enveloppe en toile. Elle est maintenue dans la position convenable, du côté de la joue postérieure de la lanterne, à l'aide de la pièce en

fer (voyez *fig.* 20); et du côté de la joue antérieure par le cercle en fer représenté, *fig.* 19.

c Espèce de poche faisant corps avec l'enveloppe *bb*. Elle est percée d'un trou pour l'introduction de la lance *f* de la pompe à incendie. Elle sert à fermer l'ouverture nécessaire pour permettre les oscillations de l'enveloppe sans dérangement de la lance *f*, qui est attachée à un point fixe.

d Tonneau défoncé à sa partie supérieure et dans lequel se rendent les eaux qui ont refroidi l'appareil.

e Tuyau pour l'issue de ces eaux.

f Lance de la pompe à incendie. Il suffit qu'elle fournisse six litres d'eau par minute quand on mesure une force de dix à douze chevaux, l'arbre de couche faisant 28 tours. L'eau qui tombe dans le tonneau se trouve alors à 20 ou 25 degrés, si elle est entrée dans l'appareil à 10° environ.

g Espèce de couture fermée avec un lacet quand l'enveloppe est en place.

ll Mâchoire supérieure du frein.

m Lanterne du frein.

ss Ecrous (voyez *fig.* 1, 2 et 5).

u Etrier en fer (voyez *fig.* 1, 2 et 5).

vv Bras de levier du frein.

FIGURE 19.

Projection et coupe verticales du cercle en fer qui, dans la fig. 18, *maintient l'enveloppe en toile dans la position convenable du côté par où l'eau entre dans l'appareil*

a,a,a,a Boulons et écrous servant à réunir les deux pièces formant le cercle *cc*.

b,b,b,b Supports de la pièce *cc*. Ils sont fixés avec des vis à bois sur les mâchoires du frein, indiquées en *dd*.

cc Cercle composé de deux pièces et maintenu par les supports *b,b,b,b* dans un plan perpendiculaire à l'arbre de couche. Quand il est en place, son centre est dans l'axe de l'arbre de couche.

d d Mâchoires du frein. On a négligé de représenter la lanterne qui devrait se trouver au milieu.

FIGURE 20.

Projection verticale et coupe transversale d'une pièce en fer fixée sur la mâchoire inférieure du frein, dans le cas d'un arbre horizontal, pour maintenir l'écartement de l'enveloppe en toile (fig. 18) *du côté opposé à l'introduction de l'eau.*

a a Pièce en fer maintenue dans un plan parallèle aux joues de la lanterne, par trois supports *c, c, c* fixés à vis sur un côté de la mâchoire inférieure du frein.

b b Mâchoire inférieure du frein.

c, c, c Supports de la pièce *a a*.

FIGURE 21.

Projections verticales d'une lanterne de frein portant deux systèmes de tuyaux pour servir au passage d'un courant d'eau froide dans l'appareil.

m m Lanterne du frein.

$\alpha, \alpha, \alpha, \alpha$ Tuyaux pour puiser l'eau froide dans le bassin *r*.

$\beta, \beta, \beta, \beta$ Tuyau pour l'issue de l'eau chaude contenue dans la lanterne.

r Bassin constamment entretenu plein, et dans lequel les tuyaux $\alpha, \alpha, \alpha, \alpha$ viennent successivement puiser l'eau.

s Bassin donnant issue par le tuyau *t* aux eaux sortant de la lanterne par les tuyaux $\beta, \beta, \beta, \beta$.

FIGURE 22.

Clef servant à manœuvrer les écrous *s* des *fig.* 1, 2 et 5.

FIGURE 23.

Engrenage servant à serrer le collier du frein.

Coupe par un plan parallèle à celui de la fig. 5, *et projection horizontale.*

aa Roue dentée dont le centre est taraudé, et forme un écrou destiné à remplacer l'un des écrous *s* des *fig.* 1, 2 et 5.

b Pignon engrenant avec la roue *aa*, et tournant autour de l'axe fixe *c*.

c Axe fixé sur la pièce *uu*.

d Ecrou taraudé dans la roue *aa*.

ff Bras de levier, à l'aide duquel on fait tourner le pignon *b*; la pièce *ff* est, de plus, mobile dans le sens de sa longueur, dans le petit collier de fer qui embrasse la partie supérieure du pignon *b*.

uu Pièce en fer (voyez *fig.* 1, 2 et 5).

FIGURE 24.

Cas d'un arbre de couche vertical.

Coupe des parties principales de l'appareil par un plan passant par l'axe de l'arbre.

aa Lanterne assemblée sur l'arbre. Le bourrelet creux dont il a été fait mention est placé à la partie inférieure; il est fermé à l'extérieur, et communique avec l'intérieur de la lanterne par les trous *w* indiqués aussi *fig.* 4.

b, *b* Cales de la joue postérieure de la lanterne. Les espaces qu'elles laissent entre elles sont bouchés avec quelques morceaux de bois et de l'étoupe.

cc Tuyau en cuivre ajusté dans le trou indiqué en ω, *fig.* 4 et 7. Il sert de trop-plein, recevant à sa partie supérieure, et laissant écouler l'eau qui s'est échauffée dans la lanterne.

d Tuyau attaché à un point fixe, amenant l'eau froide dans l'appareil.

e e Bassin en forme d'auge circulaire, formé de deux pièces et représenté en plan, *fig.* 25. Il est posé sur les oreilles *l*, *l* de la lanterne, et attaché de manière à tourner avec elles. Il reçoit sans cesse l'eau du tuyau *d*, et la transmet à la lanterne par le tuyau *f*.

f Tuyau transmettant l'eau du bassin *ee* à la lanterne.

g g h h Pièce conique en cuivre, représentée en plan, *fig.* 27. La partie *hh* est calée en bois sur l'arbre de couche, et calfatée de manière à ne pas laisser passer l'eau entre les cales.

i i Arbre de couche.

k, *k* Cales de la joue antérieure de la lanterne.

l, *l*, *l*, *l* Oreilles de la lanterne. Les boulons qui les réunissent deux à deux (voyez *fig.* 1, 2 et 7) n'ont pas été indiqués ici.

m Tuyau pour donner issue à l'eau sortant de l'appareil.

nn Collier du frein.

o o Bassin en cuivre circulaire, semblable au bassin *ee*, et agrandi par un évasement qu'il est souvent nécessaire d'ajouter pour recevoir complétement l'eau qui tombe de l'appareil. Ce bassin ne tourne pas avec l'arbre de couche, il est posé sur des supports fixes *s*, *s*.

s, *s* Supports fixes du bassin *oo*.

w, *w* Trous déjà représentés *fig.* 4, qui permettent le renouvellement, à mesure qu'elle s'échauffe, de l'eau contenue dans le bourrelet creux de la lanterne. Ce bourrelet est destiné à supporter tout le poids du collier, y compris celui du bras de levier ; et dans nombre de cas la chaleur qui se développe en cet endroit altérerait promptement les mâchoires du frein si l'eau froide ne pouvait pas y arriver constamment.

FIGURE 25.

Projection horizontale du bassin en forme d'auge circulaire représenté en ee fig. 24. *Le bassin est formé de deux pièces réunies en f f avec des boulons et écrous.*

FIGURE 26.

Coupe de la jonction indiquée en f fig. 25.

FIGURE 27.

Projection horizontale de la pièce représentée en gg hh, fig. 24.

gg hh Pièce conique en cuivre formée de deux parties réunies à l'aide de petites bandes de fer *m* et de boulons et écrous *n*, *n*.

ii Collier en fer pour empêcher la déformation de la pièce quand on la cale sur l'arbre de couche.

m, *m* Bandes de fer pour former la jonction des deux parties de la pièce *g g h h*.

n, *n* Boulons et écrous pour *id*.

FIGURE 28.

Ensemble de l'appareil, dans le cas d'un arbre de couche vertical (les pièces en cuivre, représentées fig. 24, *ne sont pas indiquées ici*).

Projection sur un plan perpendiculaire à la direction principale du bras de levier.

a Plateau destiné à recevoir le poids d'épreuve P, et de plus un autre poids équilibré par un poids égal placé dans le plateau *b*. Le plateau *a* est suspendu à la fois aux deux cordes ε et ζ, dont l'une va s'attacher au plateau *b*, et l'autre au bras de levier $v'v'$.

b Plateau destiné à recevoir un poids égal à celui qu'on met sur le plateau *a* en sus du poids P. Le plateau est suspendu à la corde ε, qui passe dans une des gorges de la poulie χ, et va s'attacher au plateau *a*.

d Point fixe auquel la poulie χ est suspendue.

ii Arbre de couche vertical.

ll, *nn* Mâchoires du frein.

m Lanterne du frein.
s Ecrou pour serrer le collier.
u Etrier en fer (voyez *fig.* 1, 2 et 5).
v' v' Arc de cercle terminant le bras de levier (voyez *fig.* 9, 10 et 13).
ρ Corde unissant les deux plateaux *a* et *b*.
φ Corde unissant le plateau *a* au bras de levier du frein.
χ Poulie très-mobile sur son axe.

FIGURES 29.

Coupe et projection verticales de la poulie, désignée par la lettre χ dans les figures 9, 10 *et* 28.

a Crochet servant à suspendre la poulie.
b Chape de la poulie.
c Axe *idem*.
dd Circonférence de la poulie présentant une double gorge.
f Galets en cuivre, mobiles sur leurs axes, et sur lesquels repose l'axe de la poulie.

FIGURE 30.

L'explication se trouve dans le texte.

Etat des dépenses strictement nécessaires pour établir à Rouen le frein que j'ai fait exécuter.

	kil.	f. c.
Une demi-lanterne en fonte, tournée, burinée, dressée, etc.	157,5	
Une, dito.	154,0	
8 boulons avec écrous en fer, forgé et tourné.	15,0	
10 cales en fer.	27,5	
2 clefs en fer forgé.	13,0	
1 bande de fer taraudée à ses deux extrémités (*q q*, *fig.* 1) et écrous.	60,0	
4 bandes en fer (*oo* et *pp*, *fig.* 1).	9,5	
2 pièces en fer forgé (*uu*, *fig.* 1).	73,0	
	509k.,5 à 2. =	1.019,00
1 poulie à double gorge (*fig.* 29).		150,00
Fournitures et ajustage pour engrenage (*fig.*23), pour assemblage de 3 pièces en cuivre (*fig.* 25 et 27), pour cercles en fer et pattes (*fig.* 19 et 20).		200,00
3 pièces en cuivre (*fig.* 24, 25 et 27) 39 liv. 12 onces, à 2 fr. 75 c.		109,30
2 petites paires de brides de raccord en fonte.		2,00
1 enveloppe en toile (*fig.* 18).		60,00
Pièces de bois pour former les mâchoires du frein, et 3 caisses garnies de ferrures pour contenir le tout.		325,00
1 compteur avec sa boîte, et deux poulies égales pouvant s'ajuster à vis sur des arbres de toute grosseur au-dessous de 20 centimètres de diamètre.		270,00
Total.		2.135f,30

POËME

Sur les forges, composé en 1517 par Nicolas Bourbon (1);

Traduit du latin par M. Antoine DUFRÉNOY.

C'était une nuit d'hiver; d'épaisses ténèbres couvraient la terre; l'air était agité et chargé de pluies; les vents soufflaient avec violence; un profond sommeil s'empare de nos membres fatigués : tout à coup Vulcain m'apparaît en songe; son visage était noir et effrayant; la sueur, comme s'il venait de quitter ses forges, ruisselait de tout son corps; sa chevelure était couverte de rouille, et ses yeux farouches lançaient des éclairs. Il avait avec lui trois de ses ministres, géants d'une taille démesurée, entièrement nus, privés d'un œil, et appelés autrefois Cyclopes. Ils entouraient Vulcain, quand ce Dieu, sans interrompre mon sommeil, m'adressa ces sévères paroles : « Jeune » ingrat, qui oublies et ton père et ta patrie,

(1) L'époque reculée à laquelle a été composé le poëme de Nicolas Bourbon, et l'exactitude avec laquelle y sont décrites les diverses opérations qui se rattachent au travail du fer, ont engagé la commission des Annales des mines à en publier la traduction. Il est intéressant de voir combien le mode de traitement suivi alors se rapproche de celui maintenant en usage. Les traités de métallurgie ne fournissent pas de documents d'une date aussi ancienne. Ils ne parlent que du travail des *plusfofen*, travail entièrement différent de celui pratiqué dans nos forges. *N. d. R.*

» pourquoi perdre ton temps dans cette honteuse
» oisiveté? Pourquoi prodiguer inutilement tes
» beaux jours? Tu déroges au nom, à la gloire et
» au talent de ton père, lui qui gouverne en paix
» ses forgerons, qui dans sa prévoyance modère
» ou excite leur ardeur, et se plaît à donner à
» chacun la récompense qu'il mérite. Malheu-
» reux! pourquoi négliger ainsi le champ paternel?
» Pourquoi cet injuste oubli pour les forêts qui
» t'ont vu si souvent, toi et tes compagnons, jouer
» avec de jeunes filles sous leur feuillage?.......
» Cette source, ces ruisseaux qui arrosent ces
» charmantes prairies et dont les eaux sont si
» utiles aux forges de ton père, les as-tu oubliés?
» Et tous les lieux ravissants, dont l'aspect charme
» les yeux des immortels eux-mêmes, sont-ils
» sortis de ta mémoire? Ils paraissent plus déli-
» cieux aux hommes que la vallée de Tempé; ils
» leur plaisent plus que l'Élysée ne plaît aux
» ombres, tant la température y est douce, tant
» les productions du sol y sont abondantes et va-
» riées. Tu méprises donc ta patrie et les pénates
» paternels, malheureux enfant? Cette terre si di-
» gne des muses ne sera-t-elle jamais chantée? Res-
» tera-t-elle toujours ensevelie dans une indigne
» obscurité? Écoute quelques conseils que je vais
» te donner; si tu es sage, grave mes paroles dans
» le fond de ton cœur: je veux que tu consacres
» tes vers à chanter cette forge, et que tu ap-
» prennes ainsi aux hommes ce qu'ils ignorent
» tous, l'art d'exploiter le fer, ce métal si funeste
» et si précieux en même temps; le fer, source
» de tant d'avantages et de malheurs, de la vie
» et de la mort. C'est par son secours qu'on peut
» labourer les terres incultes et sauvages, et les

» rendre assez fertiles pour rapporter aux hommes
» d'abondantes moissons : les arbres et les vignes
» dont on taille les bourgeons parasites reprennent
» de nouveau leur couronne de verdure et se cou-
» vrent de fruit chaque année. Avec le fer on bâtit
» les maisons, on taille les durs rochers : il est
» utile à tous les besoins de la vie humaine. Mais,
» d'un autre côté, il sert d'instrument aux massa-
» cres des hommes, aux funestes guerres, aux
» vengeances; lancé par des machines de guerre
» et par les bras de l'homme, et volant avec la
» rapidité de l'oiseau, il sert à hâter la terrible
» mort! Que si dans ton orgueil tu refusais de
» nous obéir, tu sais ce que tu dois craindre de
» ma colère pour la demeure de ton père. Il y a
» peu de temps tu n'as que trop éprouvé, si tu t'en
» souviens, les effets terribles de notre ressenti-
» ment; j'ai consumé tes vers, j'ai abandonné à
» la proie des flammes la demeure hospitalière de
» ton père, et l'herbe croîtrait maintenant à la
» place de cette forge, si je n'avais été arrêté par
» le clément souverain de l'Olympe, qui se laissa
» fléchir par tes larmes et ta piété filiale. »

Il dit, et suivi de ses Cyclopes, il disparut au milieu des ténèbres.

Je réfléchis longtemps sur ces paroles, frappé d'un ordre qui me venait de si haut, et je résolus d'exécuter ce qu'on me commandait. Je commence aujourd'hui même, car je ne veux pas tarder davantage, non que je craigne, Vulcain, ta foudre, ton tonnerre, tes bruyantes tempêtes, mais je souris à l'idée de réveiller pour quelque temps mon esprit assoupi, et de permettre à son ardeur poétique de prendre un libre essor. Daigne favori-

ser notre entreprise, puissant arbitre du monde, toi le seul qui, avec un signe de tête, avec une parole, peut nous protéger, car tu es le dieu par excellence: accorde à un jeune enfant les forces et la raison nécessaires. Sur le territoire de Vandœuvre, est un endroit où se trouve ce que nous nommons une forge; elle est placée sur les rives du fleuve Barsa, au milieu de prairies et près d'une tour élevée autrefois par des guerriers vandales, comme nous l'apprennent l'histoire et les vieux monuments; c'est ce qui a fait donner le nom de Vandœuvre à cette terre, dont la partie limitrophe du pays de Langres a acquis une grande célébrité. C'est, dis-je, dans cet endroit qu'est placée la forge; mon père Bourbon (et puissent les divinités bienveillantes me le conserver!) en dirige les travaux. D'abord il choisit avec soin des ouvriers qui sachent couper les arbres, supporter une longue fatigue et manier la hache; il les mène dans une forêt. Le rouvre, facile à fendre, le frêne sauvage et le frêne de l'autre espèce, l'yeuse, le pin et le hêtre, arbres qui servaient au chauffage chez les anciens, tombent en éclats sous les coups de la coignée. Toute la forêt en retentit; des amas de bois s'élèvent de tous côtés. Le bûcheron expérimenté épargne le houx, l'indocile mélèse, et le buis rebelle; car le charbon fait avec ces arbres ne peut jamais servir; et si on parvient à l'allumer, il pétille comme le bois de laurier, jette une flamme brillante, et s'éteint bientôt; l'ouvrage languit, et l'ouvrier bouillonne de colère. Lorsqu'on trouve que la quantité de bois abattue est suffisante, alors les habitants de la forêt, classe d'hommes pauvre, mal vêtue, mais pourtant contente de son sort, et sachant

endurer les fatigues, viennent faire pour ainsi dire le dénombrement et le compte des arbres coupés par les bûcherons; ils s'empressent de tout examiner, et en prennent le nombre exact pour ne pas se tromper en rendant le charbon à mon père, et pour que mon père, de son côté, ne leur paye pas plus qu'ils ne méritent.

Chacun se met ensuite à chercher une place découverte et entièrement sèche, car le charbon ne cuit pas bien sur une terre humide, et se réduit en cendres. Aussi l'ouvrier habile doit choisir les endroits les plus élevés, et ne placer le bois que sur un sol complétement sec; ensuite il élève une pile de bois, amas immense, large et ronde à sa base, et terminée en haut comme une pyramide. Bientôt après il couvre la partie extérieure de feuilles vertes de hêtre et de chêne, de cendres noires et épaisses; le bois qu'il recouvre ainsi n'est plus exposé à l'air. Lorsque le moment où il veut mettre le feu est arrivé, il a recours à une ouverture étroite pratiquée en dessous et bien ménagée, qui découvre un passage communiquant au milieu du bûcher, et qui sert à introduire le feu; puis, quelques instants après, il bouche hermétiquement cette ouverture au moyen de feuilles et de terre glaise; le vent ni l'air n'y peuvent pénétrer. Le feu, cherchant à communiquer avec l'air, gronde sourdement mais en vain dans l'intérieur, où ses progrès sont annoncés par un grand bruit. Des colonnes de fumée s'élèvent alors dans les airs, aussi épaisses et répandant une odeur aussi forte que celles qui sont exhalées par le Tartare, ou que le tourbillon que, suivant la renommée, Cacus, fils de Vulcain, vomit contre Hercule quelques instants avant de re-

cevoir la mort dans la caverne du mont Avantin, pour prix de son vol sacrilége. Il faut que l'ouvrier passe sept jours et sept nuits à veiller avec soin à la cuisson du charbon, qu'il prévoie les pluies qui pourraient survenir, qu'il observe si c'est le vent du midi qui souffle, quel est l'aspect du ciel, qu'il examine les astres. Il ne se laisse jamais tromper par le bouvier et ses tardifs chariots, ni par Orion qui présage les pluies; il connaît parfaitement les diverses phases de la lune. Cependant la cuisson du charbon s'opère, le charbonnier peut se reposer de temps à autre au pied du bûcher. Dès que le coq a fait entendre son chant matinal, sa femme vient le trouver pour l'aider à supporter sa peine: elle lui apporte de l'ail, de l'oignon, du sel, de l'huile, une gourde remplie de petit vin, et du lard bien gras. Elle veille quelques nuits pour tenir compagnie à son mari fatigué, et ne craint pas de partager avec lui les peines de la veillée, apprêtant son repas, préparant sa couche, balayant sa cabane (car il a pris soin de s'en élever une); notre homme travaille sans connaître l'ennui, et prend ses repas avec sa femme, toujours aussi gaie que lui. Au bout de sept jours la cuisson du charbon est entièrement accomplie, et l'on voit cesser la fumée et le feu. Alors on découvre la pile au moyen de râteaux; le bois paraît avoir éprouvé une mutation complète. Ainsi les bûches, qui peu de temps auparavant étaient d'un bois blanc et humide, paraissent noires et sèches; cependant elles ne sont pas diminuées par l'action du feu, elles conservent la même grosseur, seulement elles changent de couleur et acquièrent une nouvelle propriété. Il faut qu'un charretier accoure (car la pluie nuit au charbon),

qu'il amène des chevaux et une voiture, et transporte le charbon dans la demeure des forgerons.

En voilà assez sur ce sujet. Maintenant parlons pour procéder par ordre des ouvriers terrassiers, et exposons les remarques qui ne m'ont pas échappé, malgré ma jeunesse. On nomme ainsi les ouvriers qui, après de nombreuses fatigues, de longs travaux, parviennent à extraire le minerai de fer, qui, en creusant sans cesse, pénètrent dans les entrailles de la terre pour y trouver les veines de fer cachées dans ses profondeurs, et en retirent ensuite le métal au moyen d'une corde et d'une machine tournant sur elle-même. Peut-être me demanderez-vous comment je puis savoir, à l'aspect d'un endroit, s'il contient du minerai, s'il renferme une mine de fer? Les enfants eux-mêmes, les bouviers le connaissent; la couleur rouge du sol l'indique, et il n'y a pas de terre assez stérile pour qu'on ne puisse pas y trouver de fer. Mais apprenez quel est ordinairement le minerai de la meilleure qualité, c'est celui qui pèse beaucoup, dont la couleur tire sur le jaune, et scintille en quelques parties; on peut être sûr de sa bonté, et quand on le fait fondre, il ne trompe que rarement notre espérance. Nous devons alors nous promettre une grande abondance de fer. Quant au minerai, d'un poids léger et d'une teinte pâle, il est absorbé par le feu, semblable à du limon, et laisse dans le fourneau une grande quantité de substances étrangères, malgré le secours des soufflets, qui deviennent inutiles.

Enfin il faut faire subir à tout minerai l'opération accoutumée du lavage; s'il est trop gros et trop mélangé on le place sur des charbons pour le faire cuire, puis, quand on l'a réduit en petits

morceaux, ou le lave dans un cours d'eau disposé à cet effet; ensuite on le transporte au pied du fourneau à l'entrée. Sur le bord du fleuve Barsa est placé le fourneau, comme on l'appelle, masse de la forme d'un carré, grossièrement construite en pierres communes : au dedans sont des cailloux fort durs qui ont l'admirable propriété de résister au souffle de la flamme et aux ravages du feu. Les deux immenses soufflets de peaux de bœufs alimentent le fourneau par derrière, et obéissent à une roue que l'eau fait tourner sans cesse. Ils se meuvent et soufflent l'un après l'autre, s'enflent et se désenflent tour à tour, et leurs mouvements se succèdent avec une grande égalité. Près de là se tient le fondeur (c'est le nom de cet ouvrier), il fait couler adroitement le fer qu'on nomme fer fusible, ralentit ou précipite l'action des soufflets, et au moyen de crochets de fer enlève les substances étrangères et règle l'ardeur du feu; il sépare le fer purifié de celui qui ne l'est pas, et veille jour et nuit, endurci au travail et habitué à toutes les fatigues; il dort, dit-on, à peine une demi-heure, et sa peine est continuelle pendant les deux mois entiers qu'on laisse le fer dans l'intérieur du fourneau et qu'il reste des soufflets de rechange pour remplacer les premiers quand ils sont hors de service, renouveler la chaleur et entretenir le feu. Là des ruisseaux de fer coulent du fourneau, le métal liquéfié s'échappe avec un sifflement aigu, et en répandant des tourbillons de flamme et de fumée qui paraissent s'élever jusqu'aux astres; telles s'exhalaient de l'Etna des colonnes de flamme et de fumée lorsqu'Encela de s'efforçait, mais en vain, de dégager son corps écrasé par

cette immense montagne, et ne pouvait respirer qu'avec peine au milieu de ses inutiles efforts; un bruit semblable au tonnerre éclate; les flammes s'élancent en bouillonnant et les eaux de la mer frémissent. Durant l'opération un autre ouvrier aide le fondeur, il est chargé de remettre du charbon et du minerai dans le fourneau dès qu'un vide s'y est fait par sa large ouverture; cet ouvrier reste toujours au sommet du fourneau comme un gardien vigilant, semblable par sa figure et son extérieur au nocher des enfers; il a avec lui des ouvriers qui font d'abord des vases d'une forme ronde et creuse avec du limon, puis ils coulent le fer dans ces moules; et même (prodige inoui!) ils fondent des bombes (tel est le nom qu'on donne à ces machines infernales, invention du démon, présent de la fureur et de la colère des dieux, armes terribles que Vulcain accorda pour la première fois aux Germains); outre les bombes, ils coulent des mortiers qui servent à ébranler les murailles, et à détruire les villes et les citadelles jusque dans leurs fondements. Semblables à la foudre qui porte la flamme et le feu, ces machines terribles lancent des bombes dont l'effet est pareil à celui du tonnerre.

On n'appelle pas encore fer pur celui qui sort du fourneau. Bientôt un autre ouvrier lui fait subir de nouveau l'action du feu, le purifie une deuxième fois dans un vaste fourneau, et rend le fer assez mou pour lui faire prendre la forme de boules. Viennent aussitôt des ouvriers habiles qui le polissent et l'allongent. Ils ont un marteau de fer immense que fait mouvoir la force des eaux. Ils

chauffent une autre fois le fer en le saisissant au moyen de tenailles solides, le tiennent au milieu des flammes, et dès qu'il est chauffé jusqu'à la chaleur blanche, le plongent dans des vases préparés à cet effet. Ils imitent ainsi les Calybes, chez lesquels est situé le fleuve Bibueras, dont les eaux adoucissent la nature du fer, le rendent plus maniable et plus propre à la fabrication des armes. Quand il est rongé par le feu, on le prend, on le bat fortement à grands coups de marteau. Tout le pays voisin, l'air, les montagnes environnantes et les forêts en retentissent jusque dans leurs profondes retraites. On peut voir alors les blocs de fer s'étendre d'une manière surprenante, s'effiler et prendre la forme de tringles longues et fort minces : on le prendrait pour de la cire. Quand le fer a été bien poli et battu, c'est le devoir de mon père de le peser exactement à la fin de la semaine. Aussitôt on voit accourir le charbonnier, le terrassier, le fondeur, les forgerons; ils se rassemblent tous avec joie pour recevoir le prix fixé de leurs travaux, et joyeux ils quittent mon père. Mon père, pour ne pas s'exposer à priver quelqu'un du salaire qui lui revient, a un livret où il écrit tout ce qu'il doit à ses ouvriers; il ne veut ni être trompé, ni tromper personne. De cette manière, il connaît exactement le compte de chacun. Les ouvriers sentant leur bourse garnie se réunissent bientôt pour oublier les fatigues qui les épuisent, dans la joie d'un repas. Le vin et la joie les animent. Celui-ci porte une santé à son camarade qui ronge avidement un os; celui-là est étendu à terre accablé de sommeil et fatigué

par le mauvais vin qu'il a pris......... La maison retentit de leurs cris; c'est une confusion inouie; ils parlent tous en même temps de différentes choses. On croirait voir les Lapithes, en apercevant les coupes voler de tous côtés, les luttes qui s'engagent, les tables renversées, et le sang qui coule souvent. Telles sont les fureurs auxquelles se livre ordinairement la vile populace quand elle est égarée par le vin. Enfin il résulte de cette débauche, qu'un seul jour leur enlève le fruit des fatigues qu'ils ont endurées en travaillant jour et nuit, et les réduit ensuite à une longue pauvreté. Pourquoi s'en étonner? Ils ne font qu'imiter la conduite et les mœurs des grands; car, lorsque les pasteurs dorment, les troupeaux s'égarent; mais ne nous trompons pas, je ne veux pas dire que leur avidité sommeille, car est-il rien de comparable à l'activité qu'ils déploient pour augmenter leurs revenus, pour défendre les iniquités qui servent de base à leurs fortunes, pour faire tomber le malheureux peuple dans leurs filets, et le rendre victime de leurs ruses criminelles. Mais quelle est mon imprudence! Pourquoi, malheureux Bourbon, t'exprimes-tu avec cette téméraire franchise? Pourquoi, insensé, ne cherches-tu pas à capter la faveur de ces grands?.........
Pour moi, jusqu'ici, j'ai seulement effleuré mon sujet; j'ai passé par prudence, sur le chapitre du fer, plusieurs choses qui méritent d'exciter notre intérêt; j'ai omis de nombreux détails qui m'ont paru demander un poëte moins jeune que moi et un ouvrage volumineux. Quant aux parties que j'ai fait connaître, je les ai traitées légère-

ment et dans le but seul d'instruire la jeunesse. Vous donc, jeunes gens, accueillez avec bienveillance ce petit poëme, le poëme d'un enfant, ce sont les préludes de nos chants.

NOTE

Sur le théodolite propre à lever des plans souterrains, et sur quelques améliorations apportées à sa construction;

Par M. COMBES, Ingénieur en chef des mines.

L'usage que j'ai fait du théodolite, que j'ai décrit dans les *Annales des mines*, t. IX, p. 81, m'a fait voir que son emploi, dans les levés souterrains, était au moins aussi commode et expéditif que celui de la boussole suspendue dont on se sert habituellement. J'ai été en outre conduit à y apporter quelques modifications importantes que je vais indiquer brièvement, en renvoyant, pour de plus amples détails, au mémoire déjà cité et à la planche qui l'accompagne. J'indiquerai ensuite le moyen de rectifier l'instrument modifié.

1. Le niveau, qui sert à placer le limbe azimuthal dans une situation horizontale, est fixé sous le limbe, qui est percé d'une échancrure, afin de laisser à découvert le milieu de ce niveau, au lieu d'être fixé, comme dans l'instrument primitif, sur l'alidade qui circule sur le limbe azimuthal. Le niveau placé sous le limbe est d'ailleurs rectifiable, parce qu'une de ses extrémités tourne autour d'une charnière ou axe invariablement fixé au limbe, tandis que l'autre extrémité peut être écartée ou rapprochée du limbe au moyen d'une

vis. Le limbe latéral est fixé à l'alidade, qui circule sur le limbe azimuthal, au moyen d'une équerre dont la branche verticale est derrière le limbe latéral, et dont la branche horizontale s'étend sur l'alidade, mobile autour de l'axe du limbe azimuthal, à laquelle elle est fixée par une vis, comme dans l'ancien instrument. La vis, qui fixe la branche horizontale de l'équerre à l'alidade, a à côté d'elle une vis simplement boutante, destinée à empêcher toute vacillation. La suppression du niveau fixé sur l'alidade du limbe azimuthal a permis de prolonger la branche horizontale de l'équerre suivant le diamètre entier du limbe azimuthal, et même de faire déborder le limbe par l'extrémité de cette branche horizontale, de manière à pouvoir y placer un contrepoids qui fasse équilibre au limbe latéral.

Enfin j'ai supprimé la pinnule, qui est tout à fait inutile, et j'ai adapté à la lunette, qui sert dans tous les cas, un réticule dont le fil horizontal et le fil vertical sont également mobiles, de manière à pouvoir rectifier complétement l'axe optique de la lunette, en faisant mouvoir les fils du réticule, au lieu de faire tourner le limbe latéral sur son axe, pour opérer la rectification de la lunette dans le sens horizontal, le premier mode de rectification me paraissant plus commode que le dernier que j'avais employé d'abord. On a aussi ajouté une vis de rappel destinée à procurer le mouvement lent du limbe azimuthal sur son axe. Un niveau à bulle d'air est contenu dans la boîte de l'instrument, et sert, ainsi que cela sera expliqué, à placer le limbe latéral dans une situation verticale. Avec ces modifications, qui ne diminuent pas sa simplicité, et

rendent sa rectification plus facile, on pourra employer l'instrument aux mêmes usages auxquels on emploie le graphomètre ordinaire ou à lunettes, la boussole carrée et la boussole suspendue. On pourra même s'en servir pour des nivellements simples, après l'avoir préalablement rectifié avec soin. Comme son prix n'est pas d'ailleurs beaucoup plus élevé que celui d'une poche de mineur ordinaire, je ne doute pas qu'il ne soit bientôt adopté par les personnes qui ont les connaissances nécessaires pour lever des plans souterrains ou superficiels avec exactitude, et qui attachent à cette exactitude l'importance convenable.

2. Pour que les indications de l'instrument soient exactes, il est nécessaire: 1° que le limbe azimuthal soit contenu dans un plan horizontal; 2° que le limbe latéral ou des inclinaisons soit dans un plan vertical, quand le premier limbe est horizontal; 3° que l'axe optique de la lunette soit dans un plan horizontal, lorsque le zéro du vernier de l'alidade de la lunette correspond au zéro du limbe; 4° que le même axe optique soit parallèle au plan du limbe latéral. Toutefois cette dernière condition est la moins essentielle, et, si elle n'était pas satisfaite, les angles d'inclinaison seraient seuls affectés d'une légère erreur provenant de cette cause.

Pour rectifier le niveau fixé sous le limbe azimuthal, on fera tourner ce limbe de manière à amener le niveau dans un plan vertical passant par une des vis du pied à caler. On amènera la bulle d'air au milieu, en tournant cette vis dans le sens convenable. On fera ensuite tourner le limbe azimuthal d'une demi-circonférence, de manière à retourner le niveau bout pour bout, et

Rectification du niveau fixé au limbe azimuthal.

à le ramener d'ailleurs dans le même plan vertical que la première fois, contenant la même vis du pied. Si la bulle est encore au milieu, après ce retournement, le niveau est bien placé par rapport au limbe. Si elle n'y est pas, on l'y ramènera, moitié en se servant de la vis par laquelle un des bouts du niveau est attaché sous le limbe, moitié en se servant de la vis du pied. Cela fait, on tournera encore d'une demi-circonférence le limbe azimuthal, pour retourner encore le niveau bout pour bout, et le ramener dans sa position primitive. Si la bulle n'est pas au milieu, on l'y ramènera, comme la première fois. On continuera ainsi jusqu'à ce que la bulle soit au milieu, après comme avant le retournement, et le niveau sera alors bien placé. De plus, la ligne du limbe azimuthal parallèle à l'axe du niveau sera horizontale.

Pour achever de placer le limbe azimuthal horizontalement, on tournera ce limbe de manière à amener le niveau qui y est fixé dans un plan vertical contenant l'autre vis du pied à caler. On amènera la bulle au milieu, en tournant la vis du pied dans le sens convenable. On ramènera alors, en tournant le limbe, le niveau à bulle dans le plan vertical de la première vis du pied, et l'on vérifiera si la bulle demeure encore au milieu. Si elle n'y est point, on l'y ramènera en tournant la vis du pied. On continuera ainsi jusqu'à ce que, le niveau étant amené successivement dans le plan vertical passant par l'une et l'autre vis du pied, la bulle demeure exactement au milieu. Le limbe azimuthal sera alors placé horizontalement.

Rectification du limbe latéral.

3. Cela fait, on posera sur la branche horizontale de l'équerre, qui supporte le limbe latéral, le

niveau mobile joint à l'instrument, lequel devra avoir été préalablement rectifié par la méthode du retournement. Si la bulle d'air est au milieu, le limbe latéral sera dans un plan vertical. Si elle n'y est pas, on l'y ramènera en retirant ou enfonçant un peu la vis qui fixe la branche horizontale de l'équerre à l'alidade du limbe azimuthal. Si la vis doit être enfoncée, il faudra avoir soin préalablement de retirer la vis boutante. Dans tous les cas, il sera nécessaire, après qu'on aura ramené la bulle au milieu, de ramener la vis boutante au contact.

Rectification de l'axe optique de la lunette, dans le sens vertical, par le fil horizontal du réticule.

4. Lorsque le zéro du vernier de l'alidade de la lunette correspond au zéro du limbe latéral, préalablement placé dans un plan vertical, ainsi que nous l'avons expliqué art. 3, l'axe optique de la lunette doit être exactement horizontal. La mobilité du fil horizontal du réticule permet de rectifier l'instrument, s'il ne satisfait pas à cette condition. Voici comment on opérera cette rectification :

Le limbe azimuthal ayant été placé horizontalement, et le limbe latéral verticalement, au moyen des niveaux à bulle, fixe et mobile, on met le zéro du vernier de l'alidade de la lunette en coïncidence avec le zéro inférieur du limbe latéral, qui est divisé en quatre fois 90° (*Pl. I, fig.* 12). On fait porter une mire à 200 ou 300 mètres de distance, et le porte-mire, placé dans la direction de la lunette, fait monter ou descendre le voyant jusqu'à ce que le centre de ce voyant soit sur l'axe optique de la lunette. Soit A le voyant, IK le rayon visuel dirigé vers A, ou l'axe optique. Cela fait, on fixe invariablement la mire et le voyant. On fait tourner le limbe latéral autour du limbe

azimuthal de manière à placer le limbe latéral à gauche, s'il était d'abord à droite, ou *vice versâ*. On ramène à soi l'oculaire en faisant tourner la lunette de 180° sur le limbe latéral; c'est-à-dire en mettant le zéro du vernier de l'alidade de la lunette en coïncidence avec le zéro supérieur du limbe latéral. On dirige de nouveau la lunette sur la mire. Il est évident que si la ligne IK était d'abord horizontale, elle sera encore horizontale après le retournement; en conséquence le point A se trouvera encore, après le retournement, sur l'axe optique de la lunette. Si cela arrive, l'axe optique sera bien placé; si, au contraire, la ligne IK n'est point d'abord horizontale, cette ligne, après le retournement, formera avec l'horizontale un angle égal, mais en sens inverse de celui qu'elle formait d'abord, de sorte que le point de mire sera plus haut ou plus bas que l'axe optique de la lunette. Il est clair aussi que la ligne horizontale sera celle qui divisera en deux parties égales l'angle I'CI' compris entre les deux directions IK et I'K' de l'axe optique. On fera donc descendre le voyant jusqu'à ce que le point de mire A vienne en B dans l'axe optique de la lunette après le retournement. Le porte-mire verra la distance verticale entre les points A et B; il en prendra la moitié et remontera le voyant jusqu'au milieu de cette distance en M. La ligne CM sera alors horizontale, et il faudra que l'axe optique de la lunette coïncide avec cette ligne CM, lorsque le zéro du vernier sera au zéro supérieur ou au zéro inférieur du limbe latéral. La lunette restant donc fixée dans sa position, et le point de mire étant en M, milieu de la distance AB, on placera la clef sur la tête de la vis

qui fait mouvoir le fil horizontal du réticule, et l'on fera monter ou descendre ce fil jusqu'à ce que l'axe optique, ou la ligne allant du centre de l'oculaire à la croisée des fils du réticule, soit dirigée sur le point de mire suivant CM. Il ne restera plus alors qu'à vérifier, en répétant la même observation une ou plusieurs fois s'il est nécessaire, que la rectification est complète, ce dont on sera sûr lorsque l'axe optique, avant et après le retournement de la lunette et la transposition de gauche à droite, ou *vice versâ*, du limbe latéral, sera dirigée sur le même point de mire.

Au lieu de se servir d'une mire et d'un voyant mobile le long de sa tige, il est plus commode et plus sûr de viser sur un mur vertical un point sur lequel un aide fait une marque distincte; on a ainsi deux marques sur le mur, dans la même verticale, correspondantes aux deux positions de l'axe optique non rectifié, avant et après le retournement. On prend le milieu de la distance entre elles, où l'on fait une troisième marque sur laquelle l'observateur se dirige, en faisant monter ou descendre le fil horizontal du réticule.

Rectification de l'axe optique de la lunette, dans le sens horizontal, par le fil vertical du réticule.

5. L'axe optique de la lunette, après cette rectification, peut encore ne pas être parallèle au plan du limbe latéral; ce défaut de parallélisme est sans influence sur la mesure des angles azimuthaux, parce que ceux-ci doivent toujours être mesurés deux fois, une première en tenant le limbe latéral à sa droite, et une seconde en tenant ce limbe à sa gauche, ou *vice versâ*, et que l'erreur provenant du défaut de parallélisme de l'axe optique de la lunette au plan du limbe, donne lieu à deux erreurs égales et de sens contraire dans les deux observations, de sorte que

l'on aura toujours l'angle vrai, en prenant la moyenne arithmétique des deux angles observés (*voyez* l'art. 6 ci-après).

Erreur sur les angles d'inclinaison provenant du défaut de rectification.

Mais le défaut de parallélisme de l'axe optique de la lunette au plan du limbe vertical a aussi, sur les valeurs des angles d'inclinaison, une influence qui demeure la même dans les deux positions du limbe latéral à droite et à gauche, de sorte que les inclinaisons observées sont erronées par suite de cette cause. L'angle d'inclinaison sur le limbe latéral, lorsque l'on a opéré la rectification de l'art. 3, donne évidemment l'angle que la projection, de la ligne aboutissant au point de mire, sur le plan du limbe, forme avec la ligne horizontale, tandis que l'angle que l'on veut mesurer est celui que la ligne même dirigée sur le point de mire forme avec l'horizontale. Appelons α l'angle toujours très-petit que l'axe optique de la lunette forme avec le plan du limbe, ou avec sa projection sur le plan du limbe latéral, D la distance du centre du limbe latéral au point de mire, H la hauteur du point de mire ou objet visé au-dessus de l'horizontale menée par le centre du limbe latéral, O l'angle d'inclinaison observé, A l'angle d'inclinaison réel, l'angle cherché; on a évidemment :

$$\left.\begin{aligned}\text{Sin. A} &= \frac{\text{H}}{\text{D}} \\ \text{Sin. O} &= \frac{\text{H}}{\text{D cos. }\alpha}\end{aligned}\right\}, \text{ d'où } \frac{\text{sin. A}}{\text{sin. O}} = \text{cos. }\alpha.$$

Ainsi le sinus de l'angle vrai est au sinus de l'angle observé dans un rapport constant, égal à celui de cos. α à l'unité. L'angle α étant toujours fort petit, ce rapport diffère peu de l'unité; ainsi

le défaut de parallélisme de l'axe optique de la lunette au plan du limbe, à moins qu'il ne soit excessivement marqué, n'altérera pas beaucoup la valeur des angles d'inclinaison; néanmoins il sera préférable de faire disparaître aussi cette cause d'erreur; ce qui est possible en rectifiant l'axe optique de la lunette, de manière à le rendre parallèle au plan du limbe latéral. On opérera cette rectification en faisant mouvoir, à l'aide de la clef, le fil vertical du réticule de la lunette. Comme j'ai indiqué avec détail, dans le mémoire publié dans le tome IX des *Annales des mines*, le moyen de la faire, je n'y reviendrai point ici.

Comment on pourrait éviter la nécessité de rectifier le fil horizontal du réticule.

6. Je remarquerai que l'on échapperait à la nécessité de rectifier l'axe optique de la lunette dans le sens vertical, et que l'on obtiendrait par deux observations, et le calcul de la moyenne arithmétique entre les deux, les angles d'inclinaison, si l'on pouvait faire tourner le limbe latéral tout entier, avec la lunette qui y est fixée, de 180° sur son axe.

En effet, la première série d'observations étant faite, en tenant le limbe latéral à sa droite, et les angles d'inclinaison étant notés, on ferait tourner sur son axe le limbe latéral d'une demi-circonférence, ce qui aurait pour résultat de retourner la lunette bout pour bout, en mettant dessous la partie supérieure et inversement. Plaçant ensuite le limbe latéral à sa gauche, la lunette resterait retournée le dessous dessus, et inversement, comme cela a lieu dans le niveau d'Egault, de sorte qu'alors le défaut de position de l'axe optique de la lunette dans le sens vertical altérerait également et en sens inverse, dans les

deux positions, les valeurs des angles d'inclinaison observés.

Toutefois ces angles d'inclinaison demeureraient toujours altérés par le défaut de parallélisme de l'axe optique de la lunette et du plan du limbe latéral. Nous avons donné la mesure de l'erreur généralement très-faible provenant de cette cause; celle-ci ne peut disparaître que par la rectification de l'axe optique de la lunette, dans le sens horizontal, laquelle s'opère en faisant mouvoir le fil vertical du réticule.

La mesure des angles azimuthaux est indépendante de la rectification de l'axe optique de la lunette.

7. Nous avons dit que les angles azimuthaux étaient mesurés avec précision, indépendamment de la rectification de l'axe optique de la lunette. En effet, supposons que l'axe optique de la lunette fasse avec le plan du limbe un angle α, de façon que cet axe aille rencontrer le plan du limbe en un point situé du côté de l'oculaire. Supposons aussi, pour fixer les idées, que le limbe latéral soit tenu à la droite de l'observateur, et que la graduation du limbe azimuthal procède de gauche à droite, il est visible que le plan vertical passant par l'objet qui sert de point de mire sera différent du plan vertical du limbe latéral, et que le plan vertical de l'objet sera en avant du plan du limbe vertical, d'un angle qui croîtra avec la hauteur ou la dépression de l'objet.

Si les deux objets qui déterminent les côtés de l'angle étaient à la même hauteur, le plan du limbe étant en arrière des plans verticaux qui comprennent l'angle à mesurer, d'une même quantité, dans les deux cas, l'angle lu ne différerait pas de l'angle réel. Mais, si les hauteurs des deux objets sont différentes, il y aura une erreur égale à la différence des distances angulaires com-

prises entre le plan vertical de chacun des objets et le plan du limbe, lorsque la lunette était dirigée sur cet objet. Cette erreur sera positive ou négative, suivant que le côté de l'angle déterminé par l'objet le plus élevé sera le côté de gauche ou le côté de droite, puisque la graduation du limbe azimuthal est, par hypothèse, de gauche à droite. Ayant obtenu une première valeur de l'angle azimuthal par des observations faites, en tenant le limbe latéral à sa droite, lorsque l'on fera passer ce limbe à sa gauche, pour faire une nouvelle série d'observations, le plan vertical de l'objet qui détermine le côté de l'angle sera, dans les observations, situé en arrière du plan du limbe, de la même distance angulaire dont il était en avant dans les premières observations; de sorte que l'angle lu différera de l'angle vrai de la même quantité angulaire que la première fois; mais la différence sera en sens inverse, négative si l'objet à gauche est le plus élevé, positive dans le cas contraire. La moyenne arithmétique des valeurs conclues des deux séries d'observations sera en conséquence la valeur réelle de l'angle à mesurer.

On sait que l'erreur provenant de la position excentrique de la lunette disparaît aussi en prenant la moyenne des observations faites, en tenant le limbe latéral successivement à droite et à gauche. En conséquence l'instrument donnera les angles azimuthaux, avec une très-grande exactitude, indépendamment de la position bonne ou mauvaise de l'axe optique de la lunette, pourvu que l'on ait eu soin de placer les deux limbes l'un horizontalement, et l'autre verticalement.

Je n'ai rien à ajouter à ce que j'ai dit, dans mon premier mémoire, sur la manière de lever les

plans de mines avec le théodolite; je dirai seulement qu'aux bougies contenues dans un étui et poussées par un ressort, j'ai substitué de petites lampes *Locatelli*, dont la plate-forme est portée sur une tige cylindrique, que l'on fait entrer dans la douille du pied, destinée à recevoir ou la lumière qui sert de mire, ou l'instrument. Les bougies sont d'un usage peu commode, parce qu'elles adhèrent à l'étui, et ne cèdent pas à la pression du ressort.

RECHERCHES

Sur les combustibles minéraux;

Par M. V. REGNAULT, Aspirant-Ingénieur des mines

Les combustibles minéraux n'ont été jusqu'à présent l'objet que d'un très-petit nombre de recherches : on ne s'est beaucoup occupé que de leur analyse immédiate, c'est-à-dire de la détermination des produits que ces matières donnent lorsqu'on les soumet à la distillation ou lorsqu'on les brûle. Cette détermination est très-importante pour fixer leur valeur vénale et leur qualité, mais elle ne donne aucune notion sur leur nature intime, et celle-ci nous est encore complétement inconnue. J'ai cherché à jeter quelque jour sur cet important sujet, et, dans cette vue, j'ai entrepris une série de recherches dont je donne aujourd'hui la première partie.

PREMIÈRE PARTIE.

ANALYSE ÉLÉMENTAIRE DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX.

Dans cette première partie de mon travail je me suis occupé de déterminer la composition élémentaire des combustibles minéraux, et j'ai cherché à reconnaître comment cette composition varie suivant les propriétés et l'âge géologique des combustibles. Plusieurs chimistes se sont déjà occupés de cette question, mais leurs recherches laissent encore beaucoup à désirer.

Les premières analyses de combustibles minéraux ont été faites par M. Thomson en 1820 ou 1821 (*Annals of philosophy*, t. XIV), mais à une époque où l'analyse des substances organiques était loin d'avoir atteint le degré de perfection qu'elle possède aujourd'hui. Aussi les résultats de M. Thomson s'éloignent-ils beaucoup de la vérité.

Quelques années plus tard, M. Karsten, dans un ouvrage fort étendu sur les combustibles minéraux de la Prusse (1), a donné la composition des principales variétés, et il a cherché à poser les caractères minéralogiques d'après lesquels on pouvait les distinguer les unes des autres. Les analyses de M. Karsten sont plus exactes que celles de M. Thomson, mais elles sont loin encore de donner la véritable composition des houilles. Ainsi, la quantité d'hydrogène s'y trouve presque constamment trop faible de la moitié, et très-probablement le carbone y est souvent porté trop bas.

Le tableau suivant renferme les résultats des analyses de M. Karsten.

---

(1) Untersuchungen über die kohligen substanzen des mineralreichs überhaupt, und über die zusammensetzung der in der Preussischen monarchie vorkommenden steinkohlen insbesondere (Berlin, 1826). On en trouve un extrait fait par M. Héron de Villefosse, dans les *Annales des mines*, 2e série, tome XIII.

COMBUSTIBLES ESSAYÉS.	LIEUX D'OÙ ILS PROVIENNENT.	DENSITÉ.	NATURE DU COKE.	COMPOSITION.				COMPOSITION, DÉDUCTION FAITE DES CENDRES.			1000 AT. CARBONE sont unis avec atomes.		1000 AT. OXYGÈNE sont unis avec hydrogène.
				Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Cendres.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Oxygène.	Hydrogène.	
Bois de hêtre (d'après MM. Gay-Lussac et Thenard.)								51,45	5,82	42,73	625	1376	2190
Bois fossile passant au lignite ou au *braunkohle* de Werner.	Brühl, près Cologne.		pulvérulent.	54,97	4,313	26,467	14,25	64,10	5,03	30,87	363	955	2620
Lignite commun (Jayet) passant à la houille piciforme dite *pechkohle* de Werner. . .	Uttweiler.	1,2081	*dito.*	77,100	2,546	19,354	1,000	77,879	2,571	19,550	181	402	2114
Houille schisteuse, *schieferkohle* de Werner.	Brzenskowitz.	1,3098	*dito.*	73,880	2,765	20,475	2,880	76,070	2,847	21,083	209	455	2171
Houille schisteuse compacte, *dichte schieferkohle* de Werner.	Beuthen.	1,2846	fritté.	78,390	3,207	17,773	0,630	78,887	3,227	17,886	171	498	2901
Houille passant de la houille schisteuse à la houille piciforme.	Wellenweiler.	1,2677	médiocrement boursouflé.	81,323	3,207	14,470	1,000	82,144	3,233	14,623	146	479	3554
Houille lamelleuse, *blätterkohle* de Werner	Lamark.	1,2757	très-boursouflé.	88,680	3,207	8,113	0,000	88,680	3,207	8,113	69	441	6356
Houille lamelleuse à éclat vitreux	*dito.*	1,3065	fritté.	92,101	1,106	5,793	1,000	93,030	1,117	5,853	47	146	3070
Houille lamelleuse à éclat vitreux.	*dito.*	1,3376	pulvérulent.	92,02	0,44	2,94	0,60	96,60	0,44	2,96	23	55	2400
Houille compacte de Kilkenny, *kennelkohle* de Werner. . .	Angleterre.	1,1652	très-boursouflé.	74,47	5,42	19,61	0,50	74,83	5,45	19,72	199	886	4444
Houille intermédiaire entre la houille lamelleuse et la houille piciforme	Newcastle.	1,2563	boursouflé.	84,263	3,207	11,667	0,863	84,99	3,23	11,78	104	462	4402
Houille lamelleuse d'une consistance molle.	Eschweiler.	1,3005	très-boursouflé.	89,161	3,207	6,452	1,18	90,22	3,24	6,54	54	437	7965

Les houilles analysées par M. Karsten avaient été séchées à 100°.

La principale conséquence que M. Karsten déduit de ses analyses est celle-ci : « Dans les houilles, la propriété de se boursoufler plus ou moins dépend uniquement du rapport de l'hydrogène à l'oxygène, et la teneur en carbone est à cet égard sans aucune influence. »

La composition des combustibles minéraux était loin, d'après cela, d'être établie d'une manière définitive; elle réclamait de nouvelles recherches au moyen de procédés plus exacts que ceux qui avaient été employés. J'ai cru nécessaire de reprendre cette étude en apportant les plus grands soins dans les analyses, afin qu'il ne puisse plus rester la moindre incertitude. Dans le même temps, et à mon insu, M. Th. Richardson s'occupait du même sujet dans le laboratoire de M. Liebig, à Giessen : il a eu la complaisance de me communiquer ses résultats, qui doivent paraître dans un des prochains numéros des *Annalen der Pharmacie*.

Le tableau suivant renferme les résultats obtenus par M. Richardson.

ESPÈCE DU COMBUSTIBLE.	LIEU D'OU IL PROVIENT.	DENSITÉ.	COMPOSITION.				COMPOSITION, DÉDUCTION FAITE DES CENDRES.		
			Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Cendres.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.
Splintcoal (houille esquilleuse).	Wylam.	1,302	74,823	6,180	5,085	13,912	86,91	7,18	5,91
dito.	Glasgow.	1,307	82,924	5,491	10,457	1,128	83,87	5,55	10,58
Cannelcoal (houille compacte).	Lancashire.	1,319	83,753	5,660	8,039	2,548	85,94	5,81	8,25
dito.	Edinburgh.	1,318	67,597	5,405	12,432	14,566	79,13	6,33	14,54
Cherrycoal (houille molle).	Newcastle.	1,266	84,846	5,048	8,430	1,676	86,29	,14	8,57
dito.	Glasgow.	1,268	81,204	5,452	11,923	1,421	82,38	5,53	12,09
Cackingcoal (houille collante).	Newcastle.	1,280	87,952	5,239	5,416	1,393	89,19	5,31	5,50
dito.	Durham.	1,274	83,274	5,171	9,036	2,519	85,43	5,30	9,27

M. Richardson adopte la classification que M. Thomson a donnée pour les houilles de la Grande-Bretagne. Il conclut de ses recherches que la nature des houilles dépend du rapport qui existe entre l'hydrogène et le carbone. Cette conclusion ne me paraît pas exacte, car ses analyses démontrent au contraire que ce rapport est variable dans les houilles d'une même espèce; en effet :

Le rapport entre le nombre d'atomes de carbone et d'hydrogène est : dans la houille esquilleuse de Wylam, exactement : : 1 : 1; et dans la houille esquilleuse de Glasgow : : 1,231 : 1,000 = 5 : 4.

Ces deux houilles, qui sont rapportées à la même espèce, diffèrent donc beaucoup dans leur composition; mais on remarquera que la houille de Wylam renferme beaucoup de cendres, et

alors il reste de l'incertitude dans l'analyse, comme je l'indiquerai tout à l'heure.

Dans le cannelcoal du Lancashire le rapport est de 1,207 : 1,000 = 6 : 5.

Dans le cannelcoal d'Edinburgh : : 1,020 : 1,000 = 1 : 1. Ce qui rapproche le cannelcoal d'Edinburgh du splintcoal de Wylam; mais nous remarquerons encore ici qu'il y a incertitude dans la composition du cannelcoal d'Edinburgh, parce qu'il renferme une quantité considérable de cendres.

Dans le cherrycoal de Newcastle, le rapport entre le nombre d'atomes de carbone et d'hydrogène est de 1,370 : 1,000 = 4,110 : 3,000.

Le cherrycoal de Glasgow présente le rapport de 1,216 : 1,000 = 6 : 5. Le rapport entre le carbone et l'hydrogène n'est donc pas encore constant dans cette espèce de combustible minéral.

La quatrième espèce, le cakingcoal, présente le rapport du carbone à l'hydrogène de 4 à 3.

Le cakingcoal de Newcastle a donné à M. Richardson le rapport de 1,377 à 1,000. Celui de South-Hetton, dans le comté de Durham, le rapport de 1,315 : 1,000. La différence très-notable qui existe dans les nombres donnés par l'analyse ne permet pas d'adopter pour ces deux combustibles le même rapport de 4 à 3.

Je viens maintenant à mes propres expériences.

J'ai apporté le plus grand soin dans le choix des houilles analysées, je me suis attaché à prendre des variétés autant que possible bien caractérisées, et dont j'étais à même de connaître la qualité par leur emploi dans les arts. Je n'ai pris également que les échantillons les plus purs et les plus homogènes, j'ai toujours examiné

si les cendres étaient calcaires ou fortement ocreuses : dans ce dernier cas la houille est généralement pyriteuse, et il reste alors une légère incertitude sur la composition du combustible. Dans les houilles, proprement dites, on rencontre rarement des quantités considérables de chaux ; mais il n'en est pas de même des combustibles plus modernes, des lignites et des tourbes. Ceux-ci donnent généralement des cendres calcaires, et il peut alors y avoir un peu d'incertitude dans le dosage du carbone, surtout si la quantité de cendres est considérable. J'aurai soin d'indiquer à chaque espèce de houille analysée la nature de la cendre contenue.

Lors même que les houilles ne renferment pas de cendres calcaires ou pyriteuses, l'analyse pourra être inexacte si les cendres sont abondantes. En effet, ces cendres sont généralement formées par une matière argileuse très-fine, disséminée dans toute la masse, et qui, comme toutes les argiles, peut con enir une quantité considérable d'eau qui ne s'en va qu'à une température voisine du rouge. Par l'incinération on obtient la cendre anhydre, tandis que dans la combustion avec l'oxide de cuivre, l'eau de l'argile augmente la quantité d'hydrogène et diminue le carbone, parce qu'elle se trouve elle-même comptée comme matière combustible. C'est cette raison qui me fait croire que la composition que M. Richardson a déduite de ses analyses pour les houilles de Wylam et d'Édinburgh n'est pas tout à fait exacte, et que l'anomalie que ces combustibles présentent n'est qu'apparente.

Les fragments de houille qui ont été soumis à l'analyse ont été triés avec le plus grand soin, et

l'on a rejeté tous ceux qui présentaient quelques parties pyriteuses ou terreuses apparentes.

Il y a six éléments à déterminer dans les houilles :

1° L'eau hygrométrique;

2° Les cendres;

3° L'hydrogène;

4° Le carbone;

5° L'azote;

6° L'oxygène, qui, comme l'on sait, se détermine toujours par différence dans l'analyse des substances organiques.

Eau hygrométrique.

L'eau hygrométrique, renfermée dans les houilles, est variable suivant leur nature; les houilles compactes en renferment moins que les houilles terreuses et que les lignites. Je me suis assuré que cette eau hygrométrique était enlevée complétement dans le vide, ou par une température un peu supérieure à 100°. C'est ce que les expériences suivantes font voir clairement.

I. 1,388 d'une houille grasse en poudre séchée à l'air ont perdu par une exposition de deux jours, dans le vide sec, 0,019, p. 0/0 1,369.

II. 1,542 de la même houille exposée pendant une demi-heure à 110°, a perdu 0,021 d'eau, p. 0/0 1,354.

III. 1,557 de la même houille ont été maintenus pendant une heure à une température de 230°, ils ont perdu 0,022, p. 0/0 1,412.

On voit d'après cela que la houille abandonne toute son eau hygroscopique à environ 100°. Une fois desséchée elle attire de nouveau l'humidité

de l'air, mais il lui faut un temps assez long pour reprendre son poids primitif.

Il est assez généralement admis que les anthracites renferment une quantité d'humidité beaucoup plus considérable que les autres houilles. M. Karsten y trouve jusqu'à 6 p. 0/0 d'eau que l'on peut expulser à la température de 100°. C'est à cette quantité considérable d'eau que l'on attribue la propriété si nuisible des anthracites, de décrépiter et de se réduire en petits fragments quand elles sont saisies par la chaleur, ce qui a fait rejeter généralement ce combustible pour les hauts-fourneaux.

1,993 d'une anthracite vitreuse du pays de Galles, et dont on trouvera plus loin l'analyse, ont perdu 0,032 à 120°, ou p. 0/0, 1,605.

La même anthracite maintenue pendant une heure à une température de 250° n'a pas subi une plus grande perte de poids.

Il me paraît démontré d'après cela que les anthracites ne renferment pas plus d'eau hygroscopique que les autres houilles, et que ce n'est pas à cette eau qu'il faut attribuer la propriété qu'elles ont de décrépiter, mais bien à leur mauvaise conductibilité pour la chaleur.

L'anthracite desséchée semble reprendre bien plus rapidement son eau hygrométrique que les autres houilles.

Toutes les houilles que j'ai analysées ont été préalablement exposées pendant une demi-heure à une température de 120°.

Détermination des cendres.

Pour déterminer les cendres contenues dans les houilles, j'ai incinéré une quantité pesée de ce com-

bustible en poudre grossière, environ de 1,000 à 1,500 dans une capsule très-mince en platine, chauffée sur une lampe à esprit de vin. L'incinération se fait ainsi très-facilement, et sans que l'on soit obligé de remuer la matière; en procédant de cette manière, on évite toute chance de perte. La cendre étant pesée dans la capsule même, on l'examinait avec soin pour s'assurer qu'elle ne renfermât plus de parties combustibles, et l'on essayait si elle faisait effervescence avec les acides.

Détermination de l'hydrogène et du carbone.

Cette détermination a été faite avec l'appareil ordinaire de M. Liébig pour les analyses organiques, mais l'opération demande des précautions particulières pour obtenir une combustion parfaite. En effet, les houilles, et surtout les anthracites, sont extrêmement difficiles à brûler, et l'on n'y parvient pas en mélangeant simplement le combustible avec l'oxide de cuivre, et en faisant la combustion comme à l'ordinaire. Il faut mettre au fond du tube une certaine quantité de chlorate de potasse que l'on chauffe à la fin de l'opération : alors l'oxygène dégagé brûle complétement les dernières parcelles de charbon. J'ai essayé également de remplacer l'oxide de cuivre par le chrômate de potasse ou par le chrômate de plomb, comme M. Liébig l'a proposé dernièrement : ces substances ont un grand avantage sur l'oxide de cuivre pour la combustion des substances très-difficiles à brûler, ou que l'on ne peut pas réduire en poudre impalpable; en se fondant elles englobent complétement la matière, et la combustion est toujours parfaite. J'ai employé avec succès le chrô-

mate de plomb dans plusieurs analyses; mais je dois dire cependant que j'ai obtenu constamment un peu plus de carbone en me servant d'oxide de cuivre et de chlorate de potasse; cela tient, je crois, à ce que le chrômate de plomb ne prend jamais un état de fluidité parfait, et à ce qu'il reste rempli de bulles d'acide carbonique.

Voici maintenant comment l'opération doit être effectuée. Au fond du tube de combustion on met un mélange d'environ une partie de chlorate de potasse contre 7 ou 8 d'oxide de cuivre, par-dessus une longueur de 5 centimètres d'oxide de cuivre seul, ensuite le mélange bien intime de la matière combustible avec l'oxide de cuivre, qui occupe une longueur de 2 à 3 décimètres, enfin de l'oxide de cuivre seul pour achever de remplir le tube. On fait la combustion comme à l'ordinaire, et quand le dégagement de gaz vient à s'arrêter, et que la potasse remonte dans l'appareil, on chauffe avec précaution la partie du tube qui renferme le chlorate de potasse, l'oxygène qui se dégage brûle les dernières parcelles de carbone, et réoxide le cuivre réduit. La quantité de chlorate de potasse doit être telle qu'à la fin de l'opération il sorte une quantité notable d'oxygène qui balaie tout l'acide carbonique, et le fait passer à travers la dissolution de potasse; de cette manière on n'a pas besoin à la fin de la combustion d'aspirer de l'air à travers l'appareil, et l'on évite une erreur sur l'hydrogène, qui, dans les analyses ordinaires, se trouve augmenté par l'eau hygrométrique de l'air aspiré à travers le tube.

Pour éviter l'eau hygroscopique de l'oxide de cuivre, il faut avoir soin de dessécher le tube de combustion préparé pour l'analyse au moyen de

la petite pompe pneumatique, en maintenant le tube à une température voisine de 100°.

Détermination de l'azote.

Toutes les houilles renferment une petite quantité d'azote, ce que l'on reconnait facilement quand on les chauffe avec de la potasse ; il se dégage alors de l'ammoniaque qui est quelquefois en quantité assez considérable pour être reconnue à l'odeur, et d'autres fois ne se laisse distinguer que par les vapeurs épaisses qui se forment à l'approche de l'acide hydrochlorique.

La recherche de l'azote dans les houilles, est une opération très-délicate, à cause de la très-petite quantité qui s'y trouve; j'ai essayé plusieurs procédés; mais je suis revenu en définitive à celui de M. Dumas. Ce procédé présente cet avantage que l'on obtient le gaz azote isolé, et qu'après l'avoir mesuré on peut l'examiner, l'analyser même pour s'assurer qu'il consiste bien en azote pur, ou bien s'il renferme du deutoxide d'azote ou quelque gaz carboné. On peut d'ailleurs employer une quantité considérable de matière pour la combustion, comme 0,800 à 1,000, qui donnent généralement de 5 à 15 centimètres cubes de gaz azote : dans le cas où la combustion ne serait pas parfaite il ne pourrait rester dans le tube à combustion que quelques parcelles de carbone, ce qui ne peut pas porter erreur sur le dosage de l'azote. La plus grande difficulté consiste à éviter la production du deutoxide d'azote. Ce gaz mélangé avec une énorme quantité d'acide carbonique ne se décompose que très-difficilement au contact du cuivre métallique. On y par-

vient cependant en mettant au commencement du tube une longueur de 2 décimètres d'un cuivre très-poreux, que l'on obtient en oxidant complétement dans un fourneau de coupelle de la tournure de cuivre, et réduisant ensuite cet oxide dans un courant de gaz hydrogène. Pendant tout le temps de la combustion il faut maintenir à la plus forte chaleur possible la portion du tube qui renferme le cuivre métallique. Il est inutile de dire que le tube doit être entouré d'une feuille de cuivre, sans quoi il se crèverait inévitablement. Il faut aussi apporter un soin tout particulier dans le choix du carbonate de plomb que l'on emploie pour chasser l'air de l'appareil; celui du commerce ne donne jamais du gaz acide carbonique tout à fait pur, il reste toujours de petites portions de gaz non absorbables par la potasse. Quand on le prépare en précipitant l'acétate de plomb par le carbonate de soude, ou même en faisant bouillir la céruse du commerce avec une dissolution de carbonate de soude, on obtient difficilement un produit complétement exempt de sous-acétate. Le plus sûr est de le préparer en faisant bouillir du chlorure de plomb avec du carbonate de soude. J'ai remplacé souvent avec avantage le carbonate de plomb par le bicarbonate de soude (1) que l'on trouve très-pur, et à bon compte, dans le commerce. Ce bicarbonate présente même quelques avantages sur le carbonate de plomb, notamment celui de dégager très-facilement son acide carbonique à une chaleur très-modérée; tandis qu'il faut chauffer bien davantage pour décomposer le carbonate

---

(1) L'emploi du bicarbonate de soude avait déjà été proposé, je crois, par M. Henry.

de plomb; la litharge produite s'applique contre les parois du tube, d'où il résulte que celui-ci casse très-souvent pendant le refroidissement. Le bicarbonate de soude ne donne d'ailleurs pas beaucoup d'eau, et cette eau ne gêne nullement quand on a soin d'incliner un peu le tube de combustion de manière à ce que le liquide condensé dans la partie antérieure ne puisse pas couler contre les parties échauffées.

On peut juger, par l'exemple suivant, du degré de précision que l'on peut atteindre dans ce procédé, quand on a égard à toutes les précautions indiquées.

0,820 d'un coke fortement calciné a été chauffé à 200°, puis soumis à l'opération précédemment décrite, pour y chercher l'azote. On a conduit l'expérience exactement comme pour les houilles azotées, et l'on a fait le même nombre de fois le vide avec la petite pompe. On a recueilli 0,2 cc. de gaz non absorbable par la potasse; ce qui ferait en poids, pour 100 :

azote. . . . 0,031

C'est donc là l'erreur en plus que l'on peut faire sur l'azote quand on évite complétement la formation du deutoxide d'azote. Encore est-il très-possible que cette petite quantité de gaz soit réellement de l'azote resté en combinaison avec le carbone, car l'on admet que le charbon animal, même après avoir été très-fortement calciné, renferme encore une certaine quantité d'azote.

Dans chaque expérience j'ai eu soin d'examiner le gaz recueilli et de m'assurer s'il renfermait du deutoxide d'azote ou quelque gaz carburé.

L'azote ne se trouvant qu'en très-petite quan-

tité dans les houilles, je ne l'ai déterminé que pour quelques espèces. On trouvera cette recherche à la fin du mémoire. Dans toutes les analyses qui vont suivre, l'azote et l'oxygène sont comptés ensemble et dosés par différence.

Détermination de la nature du coke.

Pour chaque espèce de combustible analysé, j'ai déterminé la nature et le poids du coke qu'elle donnait à la calcination ; et, pour que ces essais soient comparables, je les ai faits tous, autant que possible, dans les mêmes circonstances. Cette précaution est indispensable, car la nature du coke et sa quantité varient suivant la manière dont la carbonisation est effectuée ; telle espèce de houille, qui chauffée très-lentement ne donnerait qu'un coke pulvérulent, peut donner un coke aggloméré ou fritté quand elle est saisie par une chaleur intense. J'ai toujours opéré sur cinq grammes de houille en fragments grossiers qui étaient placés dans un creuset de platine exactement recouvert de son couvercle. Ce creuset était posé immédiatement au milieu d'un feu bien allumé. On l'y laissait pendant 7 ou 8 minutes ; après quoi on le retirait, on le laissait refroidir et l'on pesait le coke.

Les houilles soumises à cet essai n'avaient pas été séchées.

Dans l'étude des combustibles minéraux qui va suivre, je n'adopterai aucune des classifications qui ont été proposées jusqu'à ce jour et qui laissent toutes beaucoup à désirer. Je préfère les ranger d'après leur âge géologique. Je distinguerai, comme on le fait généralement, quatre grandes formations renfermant des combustibles minéraux :

I. *La grande formation carbonifère* (Kohlengebirge), qui se compose des terrains de transition et du terrain houiller proprement dit. Ce dernier terrain était assez généralement considéré autrefois comme formant l'étage inférieur des terrains secondaires; mais aujourd'hui on le regarde comme formant l'étage supérieur des terrains de transition. La formation carbonifère peut être distinguée très-nettement en deux étages, d'après la nature des combustibles qu'elle renferme. L'étage inférieur se composerait des anciens terrains de transition, et l'étage supérieur du terrain houiller proprement dit. Ces deux étages diffèrent en ce que dans le premier on n'a jamais rencontré qu'un combustible très-sec, difficile à brûler, ne perdant que très-peu de son poids par la calcination. Ce combustible, qui porte le nom d'*anthracite*, se trouve également dans l'étage supérieur; mais jamais on n'a encore rencontré dans l'étage inférieur de ces combustibles gras, renfermant beaucoup de matières volatiles, qui sont si abondants dans le terrain houiller, et auxquels on donne plus particulièrement le nom de *houilles*. Les combustibles du terrain houiller portent aussi le nom de *houilles des grès*.

II. *Les terrains secondaires* qui peuvent être également divisés en deux étages :

1° L'étage inférieur se composant du grès bigarré, muschelkalk, marnes irisées (trias de M. d'Alberti), et des terrains jurassiques. 2° L'étage supérieur qui se compose du grès vert et de la craie.

Nous conserverons le nom de *houilles* aux combustibles des formations précédentes, quoique certains combustibles de la craie, tels que le jayet, portent généralement le nom de *lignites*. Le nom de lignite avait d'abord été établi comme synonyme du *braunkohle* des Allemands, il ne s'appliquait qu'à un combustible très-moderne, présentant encore des traces bien apparentes de la texture végétale; mais ensuite on l'a étendu à des combustibles modernes dans lesquels l'organisation végétale avait tout à fait disparu, quelques auteurs même l'appliquent à tous les combustibles qui ne se trouvent pas dans les terrains de transition ou dans le terrain houiller. Cette extension est très-fâcheuse, car il n'y a pas plus de raison pour appeler *lignite* le jayet de la craie que le cannelcoal du terrain houiller, et aucun caractère extérieur ne distingue les combustibles des terrains secondaires de ceux des terrains houillers proprement dits. Nous ne donnerons ici le nom de *lignites* qu'aux combustibles de la formation suivante, celle des terrains tertiaires.

III. Les *terrains tertiaires* qui renferment deux espèces de combustible :

1° Une espèce de houille imparfaite, présentant encore, au moins dans certaines parties, des traces d'organisation végétale, et à laquelle nous donnons le nom de lignite.

2° Les bitumes qui paraissent quelquefois s'être formés à la manière des houilles, et sont disposés en couches, et qui, d'autres fois, sont évidemment des produits de la décomposition des autres combustibles par l'action de la chaleur. Dans ce dernier cas, ils forment des amas irréguliers ou imprègnent les terrains à une certaine distance. On remarque toujours alors dans leur voisinage des roches ignées qui ont bouleversé le terrain, telles que des porphyres, des ophites ou des basaltes.

IV. La formation contemporaine qui renferme les combustibles qui se forment journellement sous nos yeux, tels que les *tourbes*.

Enfin il faudrait peut-être distinguer une cinquième formation de combustible minéral, celle du *graphite* ou *plombagine naturelle*. Cette espèce ne se trouve jamais que dans une position anomale, elle forme des petits amas dans les terrains primitifs, ou de transition, ou bien elle se trouve en filons. C'est par cette espèce que je commencerai.

COMBUSTIBLE DANS UN GISEMENT ANOMAL.

Graphite.

Pendant longtemps on a admis que le graphite était un carbure de fer; c'est M. Berthier qui a fait voir le premier que cette manière de voir était inexacte, en montrant que le fer pouvait être enlevé complétement par l'acide hydrochlorique sans qu'il se dégageât d'hydrogène, ce qui prouve que le fer est à l'état d'oxide et dans la gangue du graphite M. Bouesnel avait déjà montré que

le graphite des hauts-fourneaux brûle sans laisser de résidu. Le graphite doit par conséquent être regardé comme du carbone pur. S'il restait encore quelques doutes sur ce sujet, l'analyse suivante viendrait les lever complétement.

Le Graphite que j'ai analysé vient d'Allemagne, il forme une masse compacte, très-brillante, onctueuse au toucher, tachant facilement le papier : dans le mortier il se réduit en petites paillettes brillantes qui s'aplatissent sous le pilon. Sa densité a été trouvée égale à 2,273.

Le graphite est extrêmement difficile à brûler, je n'ai pu y parvenir qu'en le maintenant chauffé au rouge pendant près de deux heures dans un courant de gaz oxygène.

0,732 brûlés de cette manière ont laissé 0,042 de cendres. Ces cendres renfermaient encore quelques parcelles brillantes de graphite qui n'avaient pas été brûlées, de sorte que la quantité de cendres est un peu trop forte. Ces cendres se composaient, pour la majeure partie, de petits grains quartzeux ; mises en ébullition avec de l'acide hydrochlorique concentré, elles n'ont abandonné que des traces de matière dans laquelle on n'a pas pu reconnaître d'oxide de fer.

L'analyse a été faite par le chrômate de plomb, elle n'a pas présenté de difficulté.

0,300 ont donné 0,010 d'eau et 1,032 d'acide carbonique. La petite quantité d'eau que nous avons obtenue vient très-probablement de l'eau hygrométrique de l'air que l'on a été obligé d'aspirer à travers le tube pour absorder tout l'acide carbonique. En admettant cela, on obtient pour la composition du graphite :

Carbone.	95,12
Cendres.	5,73
	100,85

La position géologique du graphite, sa composition chimique et sa texture, qui souvent présente des paillettes cristallines très-distinctes, portent à croire que cette matière ne s'est pas formée de la même manière que les autres combustibles. Il est très-probable que le graphite était du carbone en combinaison dans des gaz carburés, et qui s'est déposé dans les fentes et les cavités des terrains échauffés; son origine serait alors semblable à celle du graphite des hauts-fourneaux qui vient se former en lames brillantes dans les fentes et dans les cavités des parois de l'ouvrage.

I. Combustibles de la formation carbonifère.

1° *Étage inférieur. Terrains de transition.*

Anthracite de Pensylvanie.

Cette anthracite vient des mines de Pittville en Pensylvanie, aux Etats-Unis; elle se trouve dans un schiste argileux de transition; on l'emploie pour le chauffage domestique et même pour les chaudières. Elle est très-homogène, à cassure vitreuse et conchoïde; ses arêtes sont très-tranchantes. Les parois des fentes sont irisées, et présentent les colorations les plus belles.

Poussière.	noir pur.
Densité.	1,462

0,964 ont donné 0,045 d'une cendre un peu ocreuse.

0,402 ont donné 0,088 d'eau et 1,315 d'acide carbonique; on déduit de là :

Hydrogène	2,43
Carbone.	90,45
Oxygène et azote.	2,45
Cendres.	4,67
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène	2,55
Carbone.	94,89
Oxygène et azote	2,56
	100 »

A la chaleur rouge, cette anthracite ne perd que très-peu de son éclat, mais sa consistance diminue beaucoup; elle se fendille dans tous les sens, et se réduit ensuite en petits fragments dans la main.

5 gr. ont donné 4,50 coke, d'où :

Cendres.	4,7
Charbon	85,3
Matières volatiles. . . .	10
	100 »

Anthracite de la Mayenne.

On trouve dans le département de la Mayenne, au milieu des schistes argileux de transition, deux espèces d'anthracite; l'une, en masses écailleuses tendres, s'écrasant sous les doigts, d'un noir un peu grisâtre. Cette espèce est très-impure; elle renferme jusqu'à 25 p. o/o de cendres, ce qui

m'a empêché de l'analyser. La seconde espèce est beaucoup plus pure, elle présente l'éclat vitreux et la cassure conchoïde des anthracites de Pensylvanie ; c'est celle que j'ai examinée. L'échantillon analysé vient des mines de la Baconnière ; il présentait, dans quelques endroits, des petites parties de charbon minéral dans lesquelles on distinguait très-nettement les fibres du bois. L'analyse a été faite sur la partie vitreuse.

Poussière.	noir pur.
Densité.	1,367

0,960 ont donné 0,009 de cendres légèrement ocreuses.

0,300 ont donné 0,106 d'eau, et 0,998 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène.	3,92
Carbone	91,98
Oxygène et azote. . .	3,16
Cendres	0,94
	100 »

ou, abstraction faite des cendres :

Hydrogène	3,96
Carbone	92,85
Oxygène et azote . . .	3,19
	100 »

5 gr. ont donné 4,55 coke, d'où :

Cendres	0,9
Charbon.	90,1
Matières volatiles. . .	9,»
	100 »

2° *Étage supérieur. Terrain houiller.*

Anthracite du pays de Galles.

Cette anthracite forme plusieurs couches dans la partie inférieure du terrain houiller du pays de Galles. L'échantillon analysé vient des mines de MM. Treachers et James, près de Swansea. On s'en sert depuis quelque temps avec succès au haut-fourneau d'Yniscedwin, où l'on fond un minerai carbonaté lithoïde; mais on est cependant obligé de lui faire subir auparavant une préparation particulière, sans quoi il se réduit trop facilement en petits fragments. L'anthracite du pays de Galles est très-homogène, sa cassure est vitreuse et conchoïde.

Poussière.	noir pur.
Densité.	1,348

1,142 ont donné 0,018 de cendres parfaitement blanches.

I. 0,369 ont donné 0,110 d'eau, et 1,236 d'acide carbonique.

II. 0,287 ont donné 0,087 d'eau, et 0,960 d'acide carbonique, d'où :

	I.	II.	Moyenne.
Hydrogène.	3,31	3,36	3,33
Carbone	92,62	92,49	92,56
Oxygène et azote. . .	2.49	2,57	2,53
Cendres.	1,58	1,58	1,58
	100 »	100 »	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène	3,38
Carbone	94,05
Oxygène et azote. . . .	2,57
	100 »

L'anthracite du pays de Galles ne change que très-peu d'aspect par la calcination.

5 gr. ont laissé 4,57 coke, d'où :

Cendres	1,6
Charbon.	89,8
Matières volatiles. . . .	8,6
	100 »

Houille anthraciteuse de Rolduc.

Cette houille se trouve dans un terrain houiller à Rolduc, près d'Aix-la-Chapelle; on ne l'emploie que pour la cuisson de la chaux. On peut la considérer comme formant le passage entre les anthracites et les houilles proprement dites; elle présente l'éclat vitreux des anthracites compactes et la texture feuilletée ordinaire des houilles. A la calcination elle donne une petite quantité de matière huileuse, mais elle ne change que très-peu d'aspect.

Poussière	noir pur.
Densité.	1,343

1,779 ont donné 0,040 cendres.

I. 0,2553 ont donné 0,098 d'eau (l'acide carbonique a été perdu).

II. 0,2927 ont donné 0,108 d'eau et 0,968 d'acide carbonique, d'où :

	I.	II.	Moyenne.
Hydrogène.	4.26	4,10	4,18
Carbone	»	91,45	91,45
Oxygène et azote. . .	»	2,20	2,12
Cendres	»	2,25	2,25
		100 »	100 »

et, déduction faite des cendres :

Hydrogène.	4,28
Carbone.	93,56
Oxygène et azote. . . .	2,16
	100 »

5 gr. ont donné 4,47 de coke, d'où :

Cendres.	2,3
Charbon	87,1
Matières volatiles. . .	10,6
	100 »

Houille d'Alais.

Cette houille vient de la mine de Rochebelle à Alais, département du Gard, où elle se trouve dans un grès houiller. Elle présente une cassure inégale d'un noir bleuâtre et un éclat assez faible; on y voit çà et là des petits rognons pyriteux. Son coke est métalloïde, légèrement boursouflé, mais beaucoup plus dense que celui des houilles maréchales. On y distingue souvent encore les divers fragments.

Poussière.	noir brun.
Densité.	1,322

1,135 ont donné 0,016 de cendres parfaitement blanches.

0,298 ont donné 0,130 d'eau, et 0,962 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène.	4,85
Carbone	89,27
Oxygène et azote . . .	4,47
Cendres	1,41
	100 »

et, en déduisant les cendres :

Hydrogène	4,92
Carbone	90,55
Oxygène et azote. . . .	4,53
	100 »

5 gr. ont donné 3,90 coke, d'où :

Cendres.	1,4
Charbon	76,6
Matières volatiles. .	22
	100 »

La houille de Rochebelle passe pour être très-*dure*, c'est-à-dire difficile à brûler, et susceptible de donner une très-haute température. Elle fournit un excellent coke pour le haut-fourneau.

Houille de Lavaysse.

Cette houille vient de la mine de Lavaysse, près de Decazeville, dans le département de l'Aveyron. Elle forme une couche très-puissante au milieu du grès houiller, et vient au jour sur le flanc d'une montagne. Cette houille présente une cassure un peu conchoïde, beaucoup d'éclat, mais c'est un éclat résineux plutôt que gras; elle donne un coke boursouflé et léger. On la regarde comme peu propre à la fabrication du coke destiné au haut-fourneau, probablement à cause de la légèreté du coke; mais elle est très-estimée pour la grille, surtout pour les fours à pudler. On l'a aussi employée avec succès à l'état cru dans le haut-fourneau.

Poussière.	brune.
Densité.	1,284

1,500 ont donné 0,079 de cendres assez fortement ocreuses.

0,299 ont donné 0,142 d'eau, et 0,888 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène	5,27
Carbone	82,12
Oxygène et azote. . .	7,48
Cendres.	5,13
	100 »

ou, déduction faite des cendres :

Hydrogène	5,56
Carbone.	86,56
Oxygène et azote	7,88
	100 »

5 gr. ont donné 3,00 coke, d'où :

Cendres	5,1
Charbon.	54,9
Matières volatiles . .	40 »
	100 »

Houille de Mons (*flénu*).

Ce charbon se présente en fragments rhomboïdaux d'une régularité remarquable ; son éclat est moyen ; il brûle avec une longue flamme, et donne un coke léger. Le flênu occupe le centre du bassin houiller de Mons. Il est très-recherché pour la chaudière et pour la fabrication du gaz.

Poussière.	brune.
Densité.	1,276

1,431 ont donné 0,030 de cendres parfaitement blanches.

0,2815 ont donné 0,134 d'eau et 0,862 d'acide carbonique.

On déduit de là :

Hydrogène.	5,29
Carbone	84,67
Oxygène et azote. . . .	7,94
Cendres	2,10
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,40
Carbone	86,49
Oxygène et azote. . . .	8,11
	100 »

Houille de Mons (2ᵉ *variété de flénu*).

Cette variété ne présente pas le clivage rhomboèdrique aussi prononcé et aussi régulier que la précédente. Ses autres caractères sont tout à fait les mêmes.

Poussière.	brune.
Densité.	1,292

2,090 ont donné 0,077 de cendres blanches.

0,361 ont donné 0,176 et 1,095 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène.	5,42
Carbone	83,87
Oxygène et azote. . . .	7,03
Cendres	3,68
	100 »

ou, déduction faite des cendres :

Hydrogène.	5,63
Carbone	87,07
Oxygène et azote. . . .	7,30
	100 »

Houille d'Epinac.

C'est une houille à cassure schisteuse très-brillante; les fissures sont remplies de pyrites ou d'efflorescences pyriteuses. Aussi perd-elle assez facilement sa consistance à l'air et se réduit-elle en menu. A la calcination elle n'augmente pas sensiblement de volume; elle donne un coke métalloïde collé, mais dans lequel on reconnaît facilement les différents morceaux qui ont servi à le former.

Poussière.	brune.
Densité.	1,353

1,498 ont donné 0,038 d'une cendre un peu ocreuse.

I. 0,3032 ont donné 0,140 d'eau et 0,889 d'acide carbonique.

II. 0,3005 ont donné 0,137 d'eau et 0,882 d'acide carbonique, d'où :

	I.	II.	Moyenne.
Hydrogène	5,13	5,06	5,10
Carbone.	81,07	81,16	81,12
Oxygène et azote. . .	11,27	11,25	11,25
Cendres	2,53	2,53	2,53
	100 »	100 »	100 »

et, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,23
Carbone.	83,22
Oxygène et azote. . . .	11,55
	100 »

5 gr. ont donné 3,18 de coke; ainsi la houille d'Epinac produit :

Cendres.	2,5
Charbon.	61,1
Matières volatiles. . . .	36,4
	100 »

Houille de Blanzy.

L'échantillon analysé était de la meilleure qualité des mines de Blanzy. C'est une houille à cassure largement lamelleuse dans un sens, très-brillante, mais elle ne présente pas l'éclat gras des houilles maréchales; elle a peu de consistance, et entre ses feuillets on rencontre souvent de la pyrite. A la calcination les morceaux se collent un peu, mais ils se séparent à la moindre pression, ils conservent leur forme, les angles se sont seulement un peu arrondis. La houille de Blanzy est un charbon léger, elle brûle avec une flamme vive, mais qui dure peu. On ne peut pas en faire du coke, mais elle est estimée pour la chaudière.

Poussière.	brune.
Densité.	1,362

1,402 ont donné 0,032 de cendres parfaitement blanches.

I. 0,300 ont donné 0,140 d'eau et 0,831 d'acide carbonique.

II. 0,281 ont donné 0,134 d'eau et 0,776 d'acidé carbonique.

On déduit de là :

	I.	II.	Moyenne.
Hydrogène	5,18	5,29	5,23
Carbone	76,59	76,36	76,48
Oxygène et azote . . .	15,95	16,07	16,01
Cendres.	2,28	2,28	2,28
	100 »	100 »	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,35
Carbone	78,26
Oxygène et azote. . . .	16,39
	100 »

5 gr. ont donné 2,90 coke, d'où :

Cendres.	2,3
Charbon.	55,7
Matières volatiles . . .	42 »
	100 »

Cannelcoal du Lancashire.

Ce combustible vient des mines du Vigan, dans le Lancashire, il est exploité dans un grès houiller. C'est une houille d'un noir-brun, sans éclat, présentant une cassure compacte et esquilleuse, avec des arêtes très-aiguës. Elle se casse difficilement, se laisse tailler au couteau, et travailler au tour, aussi en fait-on en Angleterre des objets d'ornement ; mais sous ce rapport elle le cède bien au jayet, qui présente beaucoup plus d'éclat. Le cannelcoal prend feu à la flamme d'une bougie, et continue à brûler quelque temps, après que la source de chaleur a été enlevée.

Poussière.	noir brun.
Densité.	1.317

0,918 ont donné 0,022 d'une cendre sensiblement blanche.

I. 0,362 ont donné 0,192 d'eau et 1,100 d'acide carbonique.

II. 0,335 ont donné 0,167 d'eau et 1,019 d'acide carbonique.

D'où :

	I.	II.	Moyenne.
Hydrogène.	5,89	5,54	5,71
Carbone	84,02	84,11	84,07
Oxygène et azote. . .	7,69	7,95	7,82
Cendres.	2,40	2,40	2,40
	100 »	100 »	100 »

M. Richardson a analysé également le cannel-coal du Vigan, il lui a trouvé pour composition moyenne :

Hydrogène.	5,66
Carbone	83,75
Oxygène et azote. . . .	8,04
Cendres	2,55
	100 »

Ce qui s'accorde parfaitement avec les résultats précédents. Si l'on calcule la composition du cannelcoal, en faisant abstraction des cendres, on trouve :

Hydrogène.	5,85
Carbone	85,81
Oxygène et azote. . . .	8,34
	100 »

Le cannelcoal du Lancashire donne un coke d'un gris métallique clair argentin et très-brillant. Ce coke n'est que fritté, les fragments conservent sensiblement leur forme, mais ils se collent l'un à l'autre. 5 gr. ont donné 2,95 coke. On a donc :

Cendres.	2,6
Charbon	56,4
Matières volatiles. . .	41 »
	100 »

Houille de Commentry.

Cette houille vient des mines de Commentry, dans le département de l'Allier. C'est un véritable cannelcoal, sa cassure est conchoïde et extrêmement brillante, elle brûle avec une flamme vive et fuligineuse. Cette houille est beaucoup plus brillante que le cannelcoal du Lancashire, elle est aussi beaucoup plus dure et ne se laisse pas tailler. La houille de Commentry donne un coke métalloïde d'un gris presque blanc, très-brillant, et qui est seulement fritté.

Poussière.	noir brun.
Densité.	1,319

1,248 ont donné 0,003 de cendres parfaitement blanches.

I. 0,300 ont donné 0,143 d'eau et 0,898 d'acide carbonique.

II. 0,298 ont donné 0,142 d'eau et 0,891 d'acide carbonique.

On déduit de là :

	I.	II.	Moyenne.
Hydrogène	5,29	5,29	5,29
Carbone	82,76	82,67	82,72
Oxygène et azote . . .	11,71	11,80	11,75
Cendres.	0,24	0,24	0,24
	100 »	100 »	100 »

et, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,30
Carbone	82,92
Oxygène et azote. . . .	11,78
	100 »

5 gr. ont donné 3,17 coke; d'où :

Cendres.	0,2
Charbon	63,2
Matières volatiles. . .	36,6
	100 »

Principales variétés de houilles du bassin de Rive-de-Gier.

Je réunirai ici les analyses des principales variétés de houille du bassin de Rive-de-Gier, on pourra ainsi juger comment les plus petites variations dans les qualités des houilles d'un même bassin sont annoncées par des variations assez notables dans leur composition. Les échantillons examinés ont été choisis avec le plus grand soin par M. Chatelus, ingénieur des mines à Rive-de-Gier, qui m'a donné en même temps les principales indications sur le gisement et l'emploi de ces combustibles.

Le bassin de Rive-de-Gier renferme plusieurs couches de houille qui se succèdent dans l'ordre suivant, en allant de bas en haut :

1° La *mine bourrue* d'environ 1m,25 de puissance moyenne.

2° La *dernière mine* n'ayant que 1 à 2 décimètres d'épaisseur moyenne; elle se trouve à une distance variable de 5 à 12 mètres au-dessus de la précédente.

3° La *petite bourrue*, à 3 ou 4 mètres au-dessus de la dernière mine; elle n'a que quelques centimètres d'épaisseur.

4° Les *deux bâtardes* ; ce sont deux couches séparées par un banc de grès d'environ 1 mètre d'é-

paisseur, la première a de 1 mètre à $1^m,50$ de puissance, la seconde de $1^m,50$ à 2 mètres. Ces couches se rencontrent à 15 mètres environ au-dessus de la petite bourrue.

5° A 15 mètres environ, au-dessus des bâtardes, on trouve une couche d'environ 2 décimètres d'épaisseur qui porte le nom de *seconde petite mine* ou *seconde mine de la découverte.*

6° A 8 mètres au-dessus se trouve encore une petite veine de la même épaisseur que la précédente.

7° La *grande masse*, à 35 mètres environ au-dessus de la précédente. C'est la principale couche de Rive-de-Gier, elle est divisée en deux parties par un lit de grès à grains fins, que les mineurs appellent le *nerf blanc*, et qui a environ 3 mètres d'épaisseur. La partie inférieure de la grande masse a de 3 à 4 mètres d'épaisseur, elle porte le nom de *raffaud* ou de *raffort.* Le banc supérieur, appelé *maréchal*, a de 3 à 4 ½ mètres de puissance moyenne. A la base du raffort on trouve quelquefois un banc d'épaisseur variable séparé par un pied de grès.

8° Enfin à 32 mètres au-dessus de la grande masse on rencontre une petite couche de 0,30 à 1 mètre de puissance, elle porte le nom de la *mine de la découverte.*

De toutes ces couches, trois seulement sont exploitées; ce sont la grande masse, les bâtardes et la mine bourrue, encore ces dernières couches ne sont-elles pas exploitées partout. Le district de Rive de-Gier renferme un très-grand nombre d'exploitations. J'ai examiné des houilles provenant de quatre d'entre elles.

1° *Exploitation de la Grand'-Croix.*

Les houilles de la Grand'-Croix sont plus collantes, plus maréchales que les autres houilles de Rive-de-Gier. Leur menu est très-recherché pour la fabrication du coke.

On y exploite : le raffaud } Grande masse.
le maréchal }
les bâtardes.

La grande masse y présente une épaisseur de 10 à 12 mètres, et plonge d'environ 20 à 25° à l'ouest. Les bâtardes ont à peu près 4 mètres de puissance.

Houille de la couche Maréchale.

Cette houille est d'une excellente qualité, très-collante; elle se divise en fragments grossièrement rectangulaires, mais jamais elle ne présente de feuillets plans. Elle est d'un beau noir, son éclat est gras et très-vif; elle donne un coke très-boursouflé.

Poussière.	brune.
Densité.	1 298

1,687 ont donné 0,030 de cendres très-ocreuses.

I. 0,326 ont donné 0,153 d'eau et 1,034 d'acide carbonique.

II. 0,423 ont donné 0,193 d'eau et 1,334 d'acide carbonique.

On déduit de là :

	I.	II.	Moyenne.
Hydrogène.	5,21	5,07	5,14
Carbone	87,70	87,20	87,45
Oxygène et azote. . .	5,31	5,95	5,63
Cendres.	1,78	1,78	1,78
	100 »	100 »	100 »

et, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,23
Carbone	89,04
Oxygène et azote. . . .	5,73
	100 »

5 gr. ont donné 3,45 de coke, d'où :

Cendres.	1,8
Charbon.	67,2
Matières volatiles. .	31 »
	100 »

Houille du Raffaud.

Cette houille diffère de la précédente en ce que sa cassure est plus schisteuse, elle paraît aussi moins homogène que la précédente; on y rencontre çà et là des veinules plus brillantes; elle donne un coke boursouflé, mais moins que le précédent. La houille du raffaud passe pour être plus dure que celle du maréchal.

Poussière.	brune.
Densité.	1,302

1,459 ont donné 0,021 cendres blanches.

I. 0,307 ont donné 0,138 d'eau et 0,972 d'acide carbonique.

II. 0,303 ont donné 0,129 d'eau et 0,965 d'acide carbonique; d'où

	I.	II.	Moyenne.
Hydrogène	4,99	4,73	4,86
Carbone	87,55	88,03	87,79
Oxygène et azote. . .	6,02	5,80	5,91
Cendres.	1,44	1,44	1,44
	100 »	100 »	100 »

et, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	4,93
Carbone	89,07
Oxygène et azote . . .	6 »
	100 »

5 gr. ont donné 3,51 coke, d'où :

Cendres	1,4
Charbon.	68,8
Matières volatiles . . .	29,8
	100 »

2° *Exploitation Corbeyre.*

Houille des bâtardes, Puits-Henry.

Cette houille se rapproche par l'aspect du raffaud de la Grand'-Croix, son coke est aussi semblable à celui du raffaud. Elle est regardée comme tenant le milieu entre les houilles dures et sèches de Rive-de-Gier et les houilles maréchales de la Grand'-Croix.

L'échantillon analysé vient des bâtardes, qui ne sont en exploitation que depuis fort peu de temps.

Poussière.	brune.
Densité.	1,315

1,452 ont donné 0,043 d'une cendre à peu près incolore.

I. 0,300 ont donné 0,134 d'eau et 0,953 d'acide carbonique.

II. 0,298 ont donné 0,130 d'eau et 0,947 d'acide carbonique.

On déduit de là :

	I.	II.	Moyenne.
Hydrogène	4,96	4,84	4,90
Carbone	87,84	87,87	87,85
Oxygène et azote. . .	4,24	4,33	4,29
Cendres	2,96	2,96	2,96
	100 »	100 »	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,05
Carbone	90,53
Oxygène et azote. . . .	4,42
	100 »

5 gr ont donné 3,85 de cendres, d'où :

Cendres	3
Charbon	74
Matières volatiles . . .	23
	100

On remarquera que si la houille du puits Henry est plus sèche que les houilles de la Grand'-Croix, cela tient à ce que le carbone a augmenté d'une manière notable. La houille devient alors anthraciteuse.

3° *Exploitation du Cimetière, concession des Combes et Egarande.*

Ces houilles sont regardées à Rive-de-Giers comme peu propres à la forge; mais elles sont très-recherchées pour les chaudières et pour le chauffage domestique. Les bateaux à vapeur du Rhône et de la Saône n'en consomment pas d'autres.

Houille de la Bourrue.

Cette houille a un éclat bien moins vif et moins gras que les précédentes ; sa texture schisteuse est

beaucoup plus marquée; elle donne un coke boursouflé, mais moins brillant que celui des houilles précédentes.

Poussière.	brune.
Densité.	1,288

1,259 ont donné 0,045 de cendres à peu près incolores.

I. 0,299 ont donné 0,145 d'eau et 0,885 d'acide carbonique.

II. 0,300 ont donné 0,139 d'eau et 0,892 d'acide carbonique, d'où :

	I.	II.	Moyenne.
Hydrogène.	5,39	5,15	5,27
Carbone	81,85	82,22	82,04
Oxygène et azote. . .	9,19	9,06	9,12
Cendres.	3,57	3,57	3,57
	100 »	100 »	100 »

et, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,46
Carbone	85,08
Oxygène et azote. . . .	9,46
	100 »

5 gr. ont donné 3,60 coke, d'où :

Cendres.	3,6
Charbon	68,4
Matières volatiles. . .	28 »
	100 »

Houille de la seconde Bâtarde

Cette houille est semblable à la précédente; sa texture est schisteuse, à très-larges feuillets dans

un sens ; elle donne un coke semblable à celui de la précédente.

Poussière	brune.
Densité.	1,294

1,172 ont donné 0,035 cendres.

0,295 ont donné 0,149 d'eau et 0,905 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène.	5,61
Carbone	84,83
Oxygène et azote. . . .	6,57
Cendres	2,99
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,77
Carbone	87,45
Oxygène et azote. . . .	6,78
	100 »

5 gr. ont donné 3,60 coke, d'où :

Cendres.	3,6
Charbon	67 »
Matières volatiles. . .	30 »
	100 »

4° *Exploitation de Couzon.*

Entre la concession des Combes Egarande et celle de Couzon, les couches subissent un rejet considérable qui a changé beaucoup la nature de la houille et même l'apparence des couches. La grande masse de Couzon n'est pas divisée par le *nerf blanc* comme dans les autres parties du bassin, et sa qualité est changée. Les bâtardes sont

beaucoup plus régulières que dans le reste du bassin, et leur charbon passe pour être de meilleure qualité.

Houille des Bâtardes.

Cette houille ressemble à la précédente; la texture schisteuse est seulement plus prononcée, l'éclat est aussi plus vif, elle donne un coke boursouflé, semblable à celui des houilles du cimetière.

Poussière.	brune.
Densité.	1,298

1,320 ont donné 0,036 de cendres blanches.

0,294 ont donné 0,148 d'eau et 0,878 d'acide carbonique.

On déduit de là pour la composition de la houille :

Hydrogène.	5,59
Carbone	82,58
Oxygène et azote. . . .	9,11
Cendres	2,72
	100 »

et, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,75
Carbone	84,89
Oxygène et azote. . . .	9,36
	100 »

5 gr. ont donné 3,28 coke, d'où :

Cendres	2,7
Charbon	62,8
Matières volatiles. . . .	34,5
	100 »

Houille de la Grande-Masse.

La houille de la Grande-Masse présente à Couzon un aspect tout différent de celui qu'elle présente à la Grand'-Croix. Elle a très-peu d'éclat, sa cassure est inégale, mais nullement schisteuse. Son coke est boursouflé, mais bien moins que celui des houilles de la Grand'-Croix; car on distingue encore souvent les divers fragments soumis à la carbonisation.

Poussière.	noir brun.
Densité.	1,311

1,276 ont donné 0,069 d'une cendre légèrement ocreuse.

I. 0,2992 ont donné 0,130 d'eau et 0,886 d'acide carbonique.

II. 0,2845 ont donné 0,133 d'eau et 0,839 d'acide carbonique.

III. 0,299 ont donné 0,139 d'eau, d'où :

	I.	II.	III.	Moyenne.
Hydrogène.	4,83	4,96	5,17	4,99
Carbone, ...	81,88	81,54	»	81,71
Oxygène et azote. .	7,97	8,18	»	7,98
Cendres	5,32	5,32	»	5,32
	100 »	100 »		100 »

et, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,27
Carbone	86,30
Oxygène et azote. . . .	8,43
	100 »

5 gr. ont donné 3,37 coke, d'où :

Cendres.	5,3
Charbon	62,1
Matières volatiles. . .	32 6
	100 »

Je réunirai dans un seul tableau les résultats de l'analyse des houilles de Rive-de-Gier.

DÉSIGNATION DU COMBUSTIBLE.		DÉDUCTION FAITE DES CENDRES.				
		Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Coke.	
Houilles de la Grand-Croix	Maréchale.	89,04	5,23	5,73	très boursouflé.	68,5
	Raffaud.	89,07	4,93	6 »	»	69,8
Houilles du Puits-Henry.	Batardes.	90,53	5,05	4,42	boursouflé.	76,3
Houilles du Cimetière	Bourrue. . . .	85,08	5,46	9,46	»	70,9
	Bâtarde	87,45	5,77	6,78	»	69,1
Houilles de Couzon.	Bâtarde.	84,89	5,75	9,36	»	64,6
	Grande-Masse . .	86,30	5,27	8,43	»	65,6

On peut distinguer trois qualités principales dans les houilles de Rive-de-Gier, sous le rapport de leur application aux arts.

1° Les *houilles maréchales* excellentes pour la forge, donnant un coke très-boursouflé. Ce sont les houilles de la Grand'-Croix. Celle qui possède ces propriétés au plus haut degré est la houille du maréchal, celle du raffaud est déjà plus dure; on remarquera que dans celle-ci l'hydrogène a diminué d'une manière notable.

2° Les *houilles dures à la forge*, c'est la houille du puits Henry: on remarquera que cette houille devient un peu anthraciteuse, et que le carbone y augmente d'une manière très-marquée.

3° Les *houilles à longue flamme*, moins propres à la forge, mais très-recherchées pour la grille et pour le chauffage domestique. Ces houilles ressemblent beaucoup par leurs propriétés au flênu de Mons, à côté duquel elles viennent se ranger par leur composition. Les houilles de Couzon et du Cimetière sont dans cette classe. On voit que l'hydrogène et l'oxygène ont augmenté d'une manière marquée, et que le carbone a diminué d'autant.

Les analyses précédentes montrent que la composition des houilles de la formation carbonifère varie entre des limites assez étendues; mais qu'elle reste sensiblement constante, ou au moins qu'elle ne varie qu'entre des limites très-resserrées pour les houilles d'une même qualité. C'est ce que l'on peut voir facilement par le tableau de la page 208.

D'après leur application dans les arts on peut diviser les houilles en cinq genres.

1° Les *anthracites*. Ces houilles ne changent que très-peu d'aspect à la calcination, leurs fragments conservent leurs arêtes vives, et ne se collent aucunement les uns aux autres. Leur poussière est d'un noir pur ou d'un noir grisâtre; elles brûlent très-difficilement, aussi jusqu'à présent n'ont-elles été guère employées en Europe que pour la cuisson des briques et de la chaux. Mais aux États-Unis on en fait maintenant une consommation immense pour les foyers domestiques, et même pour le chauffage des chaudières, et dans le pays de Galles on commence à employer l'anthracite

avec succès au haut-fourneau. Il est probable d'après cela que l'anthracite reprendra bientôt dans les arts métallurgiques le rang qui lui appartient par la grande quantité de calorique qu'elle est susceptible de donner sous l'unité de volume. Il y a passage insensible des anthracites les plus dures aux houilles bitumineuses; la houille anthraciteuse de Rolduc peut être regardée comme formant la transition, elle renferme déjà une quantité considérable d'hydrogène, et elle donne une certaine quantité de bitume à la distillation.

2° Les *houilles grasses et fortes* ou *dures*. Ces houilles donnent un coke métalloïde boursouflé, mais moins gonflé et plus lourd que celui des houilles maréchales. Elles sont les plus estimées pour les opérations métallurgiques, qui demandent un feu vif et soutenu, et elles donnent le meilleur coke pour les hauts fourneaux. Ces houilles diffèrent des houilles maréchales par un plus grand contenu de carbone; leur poussière est d'un noir brun.

3° Les *houilles grasses maréchales*. Ces houilles donnent un coke métalloïde très-boursouflé. Ce sont les plus estimées pour la forge. Elles sont d'un beau noir, et présentent un éclat gras caractéristique; leur poussière est brune. Le plus souvent elles sont fragiles, et se divisent en fragments rectangulaires. Comme types de cette espèce, je citerai les deux houilles de la Grand'-Croix que j'ai analysées, et le cackingcoal de Newcastle, analysé par M. Richardson.

4° Les *houilles grasses à longue flamme*. Ces houilles donnent encore ordinairement un coke métalloïde boursouflé, mais moins que celui des houilles maréchales; souvent on y reconnaît en-

core les différents fragments de houille employés à la carbonisation, mais ces fragments se sont toujours très-bien collés les uns aux autres. Ces houilles sont très-recherchées pour la grille, quand il faut donner un coup de feu vif comme dans le puddlage. Elles conviennent aussi très-bien pour le chauffage domestique, et ce sont celles que l'on préfère pour la fabrication du gaz d'éclairage. Elles donnent souvent un bon coke pour le haut-fourneau, mais toujours en assez petite quantité. Pour type de cette espèce je choisirai le flênu de Mons. Le cannelcoal du Lancashire vient aussi s'y ranger par sa composition, et par les produits qu'il donne à la carbonisation. La poussière de cette qualité de houille est brune, comme celle des houilles maréchales.

5° Les *houilles sèches à longue flamme*. Ces houilles donnent un coke métalloïde à peine fritté, souvent même les divers fragments ne contractent qu'une adhérence très-faible. Elles sont encore bonnes pour la chaudière, elles brûlent avec une longue flamme, mais qui passe assez rapidement, et elles ne sont pas susceptibles de donner une chaleur aussi intense que les houilles de la classe précédente. La couleur de la poussière est la même que celle des variétés précédentes.

Au reste, il est inutile de dire qu'il n'existe aucune séparation nette entre ces divers genres, il y a au contraire passage insensible de l'un à l'autre.

Le tableau suivant renferme, réunies, les compositions élémentaires des combustibles de la formation carbonifère.

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	LIEUX D'OU ILS PROVIENNENT.	NATURE DU COKE.	DENSITÉS	COMPOSITION.				DÉDUCTION FAITE DES CENDRES.				1000 AT. CARBONE sont unis avec atomes.	
				Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Cendres.	Coke donné à la calcination.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Hydrogène.	Oxygène.
I. Anthracites.	Pensylvanie	pulvérulent.	1,462	90,45	2.43	2,45	4.67	89,5	94.89	2,55	2,56	329	20
	Pays de Galles	*dito.*	1,348	92,56	3,33	2,53	158	91,3	94,05	3,38	1,57	440	21
	Mayenne	*dito.*	1,367	91.98	3,92	3,16	094	90.9	92,85	3,96	3,19	522	26
	Rolduc	*dito.*	1,343	91,45	4,18	2,12	2.25	89.1	93,56	4,28	2.16	560	17
II. Houilles grasses et dures.	Alais (Rochebelle)	boursouflé.	1,322	89,27	4,85	4,47	1 41	77,7	90,55	4.92	4,53	666	38
	Rive-de-Gier (P. Henry)	*dito.*	1,315	87,85	4,90	4.29	2,96	76 ,3	90,53	5.05	4,42	684	37
III. Houilles grasses maréchales.	Rive-de-Gier (Grand-Croix) 1	très-boursouflé.	1,288	87,45	5.14	5,63	1,78	68,5	89.04	5,23	5,73	719	49
	Rive-de-Gier (Grand-Croix) 2	*dito.*	1,302	87,79	4,86	5 91	1,44	69, 8	89,07	4,93	6,»	678	51
	Newcastle (Richardson)	*dito.*	1,280	87,95	5,24	5 41	1,40	»	89,19	5,31	5,50	729	47
IV. Houilles grasses à longue flamme.	Flénu de Mons. 1	boursouflé.	1,276	84,67	5,29	7.94	2,10	»	86,49	5,40	8,11	765	72
	Flénu de Mons. 2	»	1,292	83,87	5.42	7,03	3,68	»	87,07	5,63	7.30	782	64
	Rive-de-Gier. Cimetière 1	»	1,288	82,04	5,27	9.12	3,57	70,9	85,08	5,46	9,46	786	85
	Rive-de-Gier. Cimetière 2	»	1,294	84,83	5,61	6,57	2,99	69.1	87,45	5,77	6,78	808	59
	Rive-de-Gier. Couzon 1	»	1,298	82,58	5,59	9,11	2,72	64.6	84,89	5,75	9,36	830	84
	Rive-de-Gier. Couzon 2	»	1,311	81,71	4.99	7,98	5,32	65,6	86,30	5,27	8,43	748	75
	Lavaysse	»	1,284	82,12	5.27	7,48	5,13	57,9	86.56	5,56	7,88	787	70
	Lancashire (cannelcoal)	»	1,317	83,75	5.66	8,04	2,55	57,9	85.81	5,85	8,34	834	74
	Epinac	»	1,353	81,12	5,10	11,25	2,53	62.5	83,22	5,23	11,55	769	106
	Commentry	»	1,319	82,72	5,29	11.75	0,24	63,4	82.92	5,30	11,78	783	117
V. Houilles sèches à longue flamme.	Blanzy	fritté.	1,362	76,48	5,23	16,01	2,28	57,»	78,26	5,35	16,39	837	160

Les deux dernières colonnes du tableau montrent comment varient les nombres d'atomes d'hydrogène et d'oxygène pour un même nombre d'atomes de carbone dans chacune de ces espèces de combustibles.

Si nous partons de la troisième espèce, celle des *houilles grasses maréchales*, et que nous remontions de celle-ci à la seconde, celle des *houilles grasses et fortes*, nous trouvons que l'hydrogène est resté sensiblement constant, ou au moins n'a diminué que très-peu, mais que l'oxygène a diminué au contraire d'une manière notable et se trouve remplacé par du carbone.

Si nous passons de la seconde à la première, celle des *houilles anthraciteuses*, nous remarquons que l'hydrogène et l'oxygène diminuent tous les deux, et que le carbone augmente dans le même rapport.

Si, en partant toujours des *houilles maréchales*, nous descendons vers la quatrième espèce, celle des *houilles grasses à longue flamme*, nous remarquons que l'oxygène augmente d'une manière notable par rapport à l'hydrogène, et que l'hydrogène a augmenté également un peu; mais l'augmentation du nombre d'atomes d'hydrogène indiquée par l'avant-dernière colonne du tableau tient en grande partie à ce que le carbone a diminué.

Enfin dans la cinquième espèce, celle des *houilles sèches à longue flamme*, l'oxygène a encore augmenté d'une manière très-notable, et a remplacé une quantité correspondante de carbone.

On voit par-là que les houilles grasses peuvent devenir sèches de deux manières, soit en passant

à l'anthracite, dans ce cas l'hydrogène et l'oxygène sont remplacés par du carbone; soit en marchant vers les combustibles plus modernes, vers les lignites; dans ce cas le carbone est remplacé par de l'oxygène, et le rapport de celui-ci à l'hydrogène va alors en augmentant.

II. HOUILLES DES TERRAINS SECONDAIRES.

1° *Étage inférieur* (*marnes irisées, terrains jurassiques*).

Houille de Noroy.

Ce combustible se trouve au milieu des marnes irisées des Vosges, le terrain est formé par une série d'alternances de marnes irisées, de gypse et de grès schisteux. Cette houille est très-impure, elle renferme beaucoup de pyrite disséminée dans toute la masse, elle est d'un noir pur terne. Sa cassure est inégale, nullement schisteuse. A la calcination elle ne change pas de forme, et les morceaux ne se collent pas.

Poussière.	brune.
Densité.	1,410

1,099 ont donné 0,152 de cendres rouges, renfermant 0,114 de peroxide de fer et 0,038 d'argile. Si l'on transforme par le calcul les 0,114 de peroxide de fer en pyrite de fer, on trouve 0,173, ce qui porte les cendres à 0,211.

0,319 ont donné 0,125 d'eau et 0,730 d'acide carbonique.

On déduit de là :

Hydrogène.	4,35
Carbone	64,28
Oxygène et azote. . . .	13,17
Cendres	19,20
	100 »

et, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,38
Carbone	78,32
Oxygène et azote	16.30
	100 »

5 gr. ont donné 3,03 coke.

Anthracite de Lamure.

Cette anthracite vient d'une mine de la commune de Lamotte, canton de Lamure, département de l'Isère. Elle se trouve dans un terrain qui, d'après la nature des fossiles qu'il renferme, doit être rapporté au lias, mais qui en même temps présente les empreintes végétales du terrain houiller. Ce terrain a été fortement bouleversé et disloqué par des roches primitives, et il est très-probable que celles-ci ont exercé une très-grande influence sur la nature du combustible.

L'anthracite de Lamure est excessivement dure, d'un noir un peu grisâtre, avec un éclat vitreux très-brillant. Sa cassure est conchoïde, avec des arêtes extrêmement tranchantes. Dans la masse on rencontre çà et là des parties ternes beaucoup moins dures, et renfermant souvent des efflorescences pyriteuses. L'analyse a été faite sur la partie vitreuse.

Poussière.	noir grisâtre.
Densité.	1,362

1,095 ont donné 0,050 de cendres légèrement ocreuses.

0,300 ont donné 0,045 d'eau et 0,970 d'acide carbonique.

On déduit de là :

Hydrogène.	1,67
Carbone	89,77
Oxygène et azote. . . .	3,99
Cendres	4,57
	100 »

ou, en faisant abstraction des cendres :

Hydrogène.	1,75
Carbone	94,07
Oxygène et azote. . . .	4,18
	100 »

A la calcination l'anthracite de Lamure ne change que très-peu d'aspect, elle conserve son brillant, mais devient beaucoup plus cassante.

5 gr. ont donné 4,50 de coke, d'où :

Cendres.	4,6
Charbon	85,4
Matières volatiles	10 »
	100 »

Anthracite de Macot dans la Tarantaise.

Cette anthracite se trouve dans une position géologique exactement semblable à celle de l'anthracite de Lamure; elle n'est pas à large cassure conchoïde comme cette dernière.

Poussière.	noir grisâtre.
Densité.	1,919

1,360 ont donné 0,360 cendres.

0,328 ont donné 0,027 d'eau et 0,848 d'acide carbonique.

On déduit de là :

Hydrogène	0,92
Carbone	71,49
Oxygène et azote. . . .	1,12
Cendres	26,47
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	1,25
Carbone	97,23
Oxygène et azote. . . .	1,52
	100 »

5 gr. ont donné coke; on déduit de là :

Cendres.	26,5
Charbon.	66,1
Matières volatiles	7,4
	100 »

Houille d'Obernkirchen.

Cette houille forme une seule petite couche de $0^{m},40$ d'épaisseur au milieu d'une formation très-puissante de grès, dans la principauté de Schaumburg Lippe en Westphalie. La plupart des géologues allemands regardent ces grès comme le quadersandstein formant l'étage supérieur du lias; d'autres, au contraire, sont portés à le regarder comme correspondant au grès vert.

La houille d'Obernkirchen est une houille grasse maréchale d'excellente qualité, elle est très-collante, et produit un coke très-boursouflé. On l'emploie presque exclusivement dans les usines métallurgiques du nord de l'Allemagne. Son aspect la rapproche des houilles maréchales de

Rive-de-Gier, son éclat est seulement moins vif, elle se réduit très-facilement en menu.

Poussière.	noir brun.
Densité.	1,279

0,998 ont donné 0,010 d'une cendre légèrement jaunâtre, ne faisant pas effervescence avec les acides.

I. 0,435 ont donné 0,193 d'eau et 1,413 d'acide carbonique.

II. 0,605 ont donné 0,258 d'eau et 1,955 d'acide carbonique.

On déduit de là :

	I.	II.	Moyenne.
Hydrogène	4,93	4,74	4,83
Carbone	89,82	89,18	89,50
Oxygène et azote. . .	4,25	5,08	4,67
Cendres	1 »	1 »	1 »
	100 »	100 »	100 »

et, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	4,88
Carbone	90,40
Oxygène et azote. . . .	4,72
	100 »

5 gr. ont donné 3,89 coke, d'où :

Cendres	1 »
Charbon.	76.9
Matières volatiles . . .	22,1
	100 »

Houille de Céral.

Ce combustible forme deux couches assez étendues dans les marnes inférieures de l'oolite inférieure de Céral, commune de Lavancas, département de l'Aveyron. Ce charbon brûle très-

bien, il est employé à Milhau, à Sainte-Affrique et dans tous les environs pour la cuisson des briques et le service des usines. Il ressemble beaucoup par son aspect aux houilles à longue flamme du terrain houiller. La houille de Céral est très-fragile, elle se divise en fragments rhomboïdaux. Cette fragilité tient à ce que les feuillets de la houille sont séparés par de petites efflorescences pyriteuses. Elle donne un coke métalloïde fritté. Les fragments de houille se collent très-bien.

Poussière.	brune.
Densité.	1,294

1,473 ont donné 0,160 de cendres jaunâtres, ne faisant pas effervescence avec les acides.

0,314 ont donné 0,134 d'eau et 0,856 d'acide carbonique.

Hydrogène.	4,74
Carbone	75,38
Oxygène et azote. . . .	9,02
Cendres.	10,86
	100 »

et, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,32
Carbone	84,56
Oxygène et azote. . . .	10,12
	100 »

5 gr. ont donné 2,92 de coke, d'où :

Cendres	10,9
Charbon.	47,5
Matières volatiles. . . .	41,6
	100 »

2° *Etage supérieur. Terrain crétacé.*

Houille de Saint-Girons.

Ce combustible a été trouvé dans la mine d'alun du mas d'Asile, il forme des couches fort minces dans des bancs de grès correspondant au grès vert. C'est un jayet très-brillant, à cassure conchoïde, très-dur, on en a longtemps fabriqué des bijoux et des objets d'ornement. Il donne un coke métalloïde brillant, les fragments s'arrondissent et se soudent d'une manière assez ferme.

Poussière.	brune.
Densité.	1,316

1,370 ont donné 0,056 de cendres un peu ocreuses ne faisant pas effervescence avec les acides.

0,2995 ont donné 0,147 d'eau et 0,790 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène.	5,45
Carbone	72,94
Oxygène et azote. . . .	17,53
Cendres	4,08
	100 »

ou, en faisant abstraction des cendres :

Hydrogène.	5,69
Carbone	76,05
Oxygène et azote. . . .	18,26
	100 »

5 gr. ont donné 2,24 coke, d'où :

Cendres.	4,1
Charbon	40,7
Matières volatiles. . . .	55,2
	100 »

Jayet de Sainte-Colombe.

Ce jayet était taillé en bijoux, il se trouve dans un gisement semblable à celui du précédent. Il donne un coke métalloïde, les morceaux conservent leur forme, mais ils adhèrent assez fortement.

Poussière.	brune.
Densité.	1,305

1,014 ont donné 0,009 de cendres ocreuses.

0,2915 ont donné 0,152 d'eau et 0,795 d'acide carbonique.

On déduit de là :

Hydrogène.	5,79
Carbone	75,41
Oxygène et azote. . . .	17,91
Cendres	0,89
	100 »

ou, en faisant abstraction des cendres :

Hydrogène	5.84
Carbone.	76,09
Oxygène et azote. . .	18,07
	100 »

3,35 ont donné 1,42 coke, d'où l'on déduit :

Cendres.	0,9
Charbon.	41,5
Matières volatiles.	57,6
	100 »

Pour ne pas trop multiplier les tableaux, nous réunirons les combustibles des terrains secondaires dans le même tableau que les combustibles des terrains tertiaires dont la description va suivre.

III. Combustibles des terrains tertiaires.

Lignite des Bouches-du-Rhône.

Ce lignite existe dans presque toutes les parties du bassin tertiaire occupé par le calcaire d'eau douce du midi de la France. L'échantillon analysé vient de la mine du Grand-Rocher, commune de l'Pengoin, près d'Aix, dans le département des Bouches-du-Rhône.

Ce lignite est très-schisteux, d'un noir pur, très-brillant, on n'y reconnaît plus la texture ligneuse, excepté dans certaines parties moins altérées, et qui se distinguent par leur couleur brune. Son coke est d'un noir grisâtre, les fragments ont conservé leur forme et ne se collent pas. Il brûle avec une flamme très-brillante et fuligineuse.

Poussière.	brune.
Densité.	1,254

1,325 ont donné 0,178 de cendres composées en grande partie de carbonate de chaux.

0,303 ont donné 0,125 d'eau et 0,700 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène.	4,58
Carbone	63,88
Oxygène et azote. . . .	18,11
Cendres	13,43
	100 »

ou, déduction faite des cendres :

Hydrogène	5,29
Carbone.	73,79
Oxygène et azote. . . .	20,92
	100 »

Cette analyse présente quelque incertitude à cause du carbonate de chaux renfermé dans les cendres, et qui dans la combustion peut avoir abandonné une certaine quantité d'acide carbonique. Le dosage du carbone peut d'après cela être trop fort de 0,50 à 1,00.

5 gr. ont donné 2,45 de coke, d'où :

Cendres.	13,4
Charbon.	35,6
Matières volatiles	51 »
	100 »

Lignite de Dax.

Ce lignite est d'un beau noir, à cassure inégale, il a peu d'éclat, et ne présente pas de texture ligneuse. A la calcination les morceaux ne changent pas d'aspect et ne se collent pas les uns aux autres.

Poussière.	brune.
Densité.	1,272

1,042 ont donné 0,052 de cendres ne faisant pas effervescence avec les acides.

0,304 ont donné 0,153 d'eau et 0,775 d'acide carbonique.

On déduit de là :

Hydrogène.	5,59
Carbone	70,49
Oxygène et azote. . . .	18,93
Cendres	4,99
	100 »

ou, abstraction faite des cendres :

Hydrogène.	5,88
Carbone	74,19
Oxygène et azote . . .	20,13
	100 »

5 gr. ont donné 2,58 coke, d'où :

Cendres.	5 »
Charbon	46,6
Matières volatiles	48,4
	100 »

Lignite du mont Meisner.

Ce lignite se trouve dans une couche argileuse reposant sur le Muschelkalk, et formant la partie supérieure du plateau du mont Meisner, dans le duché de Hesse-Cassel. Dans quelques endroits, le lignite est recouvert par une couche de basalte qui s'est fait jour dans l'axe de la montagne, et s'est épanchée sur le plateau ; dans ces endroits le combustible a subi une altération très-remarquable; il est souvent complétement carbonisé, et se divise en fragments prismatiques perpendiculaires au plan de la couche.

L'échantillon analysé est extrêmement brillant, à cassure conchoïde, il ressemble au plus beau jayet, mais il se brise plus facilement. A la calcination les morceaux se collent un peu, mais sans se fritter.

Poussière.	noir brun.
Densité.	1,351

0,849 ont donné 0,015 d'une cendre parfaitement blanche.

0,300 ont donné 0,131 d'eau et 0,778 d'acide carbonique.

On déduit de là :

Hydrogène.	4,85
Carbone.	71,71
Oxygène et azote. . . .	21,67
Cendres	1,77
	100 »

ou, déduction faite des cendres :

Hydrogène.	4,93
Carbone.	73 »
Oxygène et azote. . . .	22,07
	100 »

5 gr. ont donné 2,47 coke, d'où :

Cendres.	1,8
Charbon	47,6
Matières volatiles	50,6
	100 »

Lignite des Basses-Alpes.

Ce combustible est exploité dans un calcaire d'eau douce. Il est de bonne qualité et peut être employé pour la forge. Il est compacte, noir et d'un éclat gras, et donne un coke un peu boursouflé.

Poussière.	brun clair.
Densité.	1,276

0,997 ont donne 0,030 de cendres assez fortement ocreuses, mais ne faisant pas effervescence avec les acides.

I. 0,300 ont donné 0,140 d'eau et 0,760 d'acide carbonique.

II. 0,305 ont donné 0,143 d'eau et 0,772 d'acide carbonique, d'où :

	I.	II.	Moyenne.
Hydrogène.	5,18	5,21	5,20
Carbone	70,05	69,99	70,02
Oxygène et azote. . .	21,76	21,79	21,77
Cendres	3,01	3,01	3,01
	100 »	100 »	100 »

ou, déduction faite des cendres :

Hydrogène.	5,36
Carbone	72,19
Oxygène et azote. . . .	22,45
	100 »

5 gr. ont donné 2,55 coke, d'où :

Cendres.	3
Charbon	48
Matières volatiles. . . .	49
	100

Lignite de Ellebogen en Bohême.

Ce lignite forme une couche puissante dans un terrain argileux tertiaire. On l'emploie pour cuire la porcelaine. Il est compacte, homogène comme le jayet, à cassure conchoïde terne, d'un brun noirâtre, mais sa poussière est d'un brun clair. Il donne un coke métalloïde brillant très-léger.

Poussière.	brun rougeâtre.
Densité.	1,157

1,490 ont donné 0,074 de cendres jaunâtres, mais nullement calcaires.

0302 ont donné 0,203 d'eau et 0,806 d'acide carbonique.

On déduit de là :

Hydrogène.	7,46
Carbone	73,79
Oxygène et azote . . .	13,79
Cendres	4,96
	100 »

et, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	7,85
Carbone	77,64
Oxygène et azote. . . .	14,51
	100 »

5 gr. ont donné 1,55 coke, d'où :

Cendres.	5
Charbon	26
Matières volatiles. . . .	69
	100

Lignite bitumineux de l'île de Cuba.

Ce lignite est extrêmement bitumineux, il forme le passage entre les lignites et les bitumes ou asphaltes. Sa position géologique nous est inconnue, mais tout fait présumer qu'il est de formation tertiaire. Sa couleur est un noir velouté, avec un éclat très-gras. Soumis à l'action de la chaleur il fond facilement, et laisse pour résidu un coke boursouflé extrêmement léger.

Poussière.	noire.
Densité.	1,197

1,243 ont donné 0,049 de cendres.

0,288 ont donné 0,188 d'eau et 0,790 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène.	7,25
Carbone	75,85
Oxygène et azote. . . .	12,96
Cendres	3,94
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	7,55
Carbone	78,96
Oxygène et azote. . . .	13,49
	100 »

5 gr. ont donné 2,07 de coke, d'où :

Cendres.	3,9
Charbon.	37,5
Matières volatiles. . .	58,6
	100 »

Asphalte du Mexique.

Cet asphalte porte au Mexique le nom de *chapopote.* Son gisement est inconnu. Il est noir, très-brillant et répand une odeur extrêmement forte et désagréable. Il fond au-dessous de 100°.

Poussière.	noire.
Densité	1,063

1,000 ont donné 0,028 de cendres composées de grains quartzeux.

0,301 ont donné 0,252 d'eau et 0,862 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène.	9,30
Carbone	79,18
Oxygène et azote. . . .	8,72
Cendres	2,80
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	9,57
Carbone	81,46
Oxygène et azote . . .	8,97
	100 »

5 gr. ont donné 0,58 d'un coke très-boursouflé, d'où :

Cendres.	2,8
Charbon	8,8
Matières volatiles. . . .	88,4
	100 »

Lignite de la Grèce.

Ce combustible est exploité sur les bords de l'Alphée dans l'Élide. Il est feuilleté, à feuillets épais, d'un noir terne, et présente beaucoup d'indices d'organisation végétale. Quelques morceaux ont conservé entièrement la structure du bois. A la calcination les morceaux ne changent pas de forme. Ce lignite se trouve dans un terrain tertiaire, contemporain du terrain d'eau douce parisien.

La partie analysée avait été préalablement traitée par de l'acide hydrochlorique très-faible, pour enlever le carbonate de chaux qui est très-abondant dans la cendre.

Poussière.	brune.
Densité.	1,185

1,319 ont donné 0,119 de cendres un peu ocreuses.

0,300 ont donné 0,135 d'eau et 0,664 d'acide carbonique.

Hydrogène	5 »
Carbone	61,20
Oxygène et azote. . . .	24,78
Cendres	9,02
	100 »

ou, abstraction faite des cendres :

Hydrogène.	5,49
Carbone	67,28
Oxygène et azote. . . .	27,23
	100 »

5 gr. ont donné 2,22 coke, d'où :

Cendres.	9 »
Charbon.	35,4
Matières volatiles. . . .	55,6
	100 »

Terre d'ombre de Cologne

Ce combustible forme des couches très-épaisses au milieu d'une formation récente de sable et d'argile qui s'étend le long du Rhin, depuis Cologne jusqu'à Bonn. Il est friable, d'un brun rougeâtre, présentant encore la texture ligneuse extrêmement prononcée; il donne un charbon ressemblant au charbon de bois.

Poussière.	brun rouge.
Densité.	1,100

1,365 ont laissé 0,075 d'une cendre ocreuse ne faisant pas effervescence avec les acides.

0,301 ont donné 0,135 d'eau et 0,689 d'acide carbonique.

Hydrogène.	4,98
Carbone	63,29
Oxygène et azote. . . .	26,24
Cendres	5,49
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,27
Carbone	66,96
Oxygène et azote	27,77
	100 »

5 gr. ont donné 1,98 de charbon, d'où :

Cendres.	5,5
Charbon	34,1
Matières volatiles	60,4
	100 »

Bois fossile d'Usnach.

Ce bois fossile se trouve assez abondamment au milieu d'un lignite dans la molasse d'Usnach,

sur les bords du lac de Zurich en Suisse. Cette molasse est considérée comme postérieure au dépôt du bassin gypseux de Paris. La texture du bois est encore parfaite, sa couleur est le brun presque noir. Il est fort dur et ne se laisse pas couper; mais on parvient, quoique avec beaucoup de peine, à le broyer dans un mortier.

Poussière.	brun clair.
Densité.	1,167

0,685 ont donné 0,015 d'une cendre légèrement jaunâtre, se dissolvant dans les acides sans effervescence sensible.

0,300 ont donné 0,154 d'eau et 0,608 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène.	5,70
Carbone	56,04
Oxygène et azote. . . .	36,07
Cendres.	2,19
	100 »

ou, en faisant abstraction des cendres :

Hydrogène.	5,83
Carbone	57,29
Oxygène	36,88
	100 »

Nous pouvons distinguer trois espèces principales dans les combustibles des terrains tertiaires.

1° Les lignites parfaits qui ne présentent plus la texture du bois ;

2° Les lignites imparfaits qui présentent la texture ligneuse plus ou moins conservée ;

3° Les lignites passant au bitume.

On trouve la composition des lignites analysés dans le tableau suivant, où nous avons réuni en même temps les analyses des combustibles des terrains secondaires.

DÉSIGNATIONS DES COMBUSTIBLES.		LIEUX D'OU ILS PROVIENNENT.	NATURE DU COKE.	DENSITÉ.	COMPOSITION.				DÉDUCTION FAITE DES CENDRES.				1000 AT. CARBONE sont unis avec atomes.	
					Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Cendres.	Coke à la calcination.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Hydrogène.	Oxygène.
TERRAINS SECONDAIRES.														
I. Étage inférieur.	Anthracite.	Lamure.	pulvérulent.	1,362	89,77	1,67	3,99	4,57	89,5	94,07	1,75	4,18	227	34
	dito.	Macot.	*dito.*	1,919	71,49	0,92	1,12	26,47	88,9	97,23	1,25	1,52	156	12
	Houilles.	Obernkirchen.	très-boursouflé.	1,279	89,50	4,83	4,67	1,»	77,8	90,40	4,88	4,72	661	40
	dito.	Céral.	fritté.	1,294	75,38	4,74	9,0[illegible]	11,86	53,3	84,56	5,3[illegible]	10,12	771	92
	dito.	Noroy.	pulvérulent.	1,410	63,28	4,35	13,17	19,20	51,2	78,32	5,38	16,30	841	159
II. Étage supérieur.	Jayet.	Saint-Girons.	fritté.	1,316	72,94	5,45	17,53	4,08	42,5	76,05	5,6[illegible]	18,26	916	184
	dito	Belestat.	*dito.*	1,305	75,41	5,79	17,91	0,89	42,»	76,00	5,84	18,07	911	181
TERRAINS TERTIAIRES.														
I. Lignite parfait.		Dax.	pulvérulent.	1,272	70,49	5,59	18,93	4,99	49,1	74,19	5,88	20,13	970	207
		Bouches-du-Rhône.	*dito.*	1,254	63,88	4,58	18,11	13,43	41,1	73,79	5,29	20,92	878	217
		Mont Mesiner.	*dito.*	1,351	71,71	4,85	21,67	1,77	48,5	73,»	4,93	22,07	827	231
		Basses-Alpes.	*dito.*	1,276	70,02	5,20	21,77	3,01	49,5	72,19	5,36	22,45	910	238
II. Lignite imparfait.		Grèce.	analogue au charbon de bois.	1,185	61,20	5,»	24,78	9,02	38,9	67,28	5,49	27,23	1000	309
		Cologne.		1,100	63,29	4,98	26,24	5,49	36,1	66,96	5,27	27,77	964	318
		Usnach (bois fossile).	*dito.*	1,167	56,04	5,70	36,07	2,19	»	57,29	5,8[illegible]	36,88	1247	492
III. Lignite passant au bitume.		Ellebogen.	boursouflé.	1,157	73,79	7,46	13,79	4,96	27,4	77,64	7,85	14,51	1238	143
		Cuba.	*dito.*	1,197	75,85	7,25	12,96	3,94	39,0	78,96	7,55	13,49	1257	126
Asphalte.			*dito.*	1,063	79,18	9,30	8,72	2,80	9,0	81,46	9,57	8,97	1438	84

Si nous jetons les yeux sur le tableau précédent, et si nous le comparons au premier tableau qui renferme les combustibles de la formation carbonifère, nous trouvons que les combustibles des terrains secondaires présentent des compositions analogues à celles des terrains plus anciens, et que dans l'étage inférieur du premier on peut distinguer toutes les variétés de houilles que nous avons remarquées dans le terrain houiller proprement dit.

Ainsi, les anthracites de Lamure et de Macot, qui se trouvent dans le lias, présentent la même composition que celles des terrains de transition.

La houille d'Obernkirchen, qui se trouve dans des grès rapportés aux parties supérieures du lias, présente la composition des houilles grasses et fortes, n° II, de la formation houillère.

La houille de Céral, qui se trouve dans l'oolite inférieure, vient se placer par sa composition, comme par ses propriétés métallurgiques, dans la classe n° IV, des houilles grasses à longue flamme.

Les combustibles de l'étage supérieur des terrains secondaires, c'est-à-dire du grès vert ou de la craie, se rapprochent au contraire par leur composition des combustibles des terrains tertiaires ou des lignites.

La composition des combustibles des terrains tertiaires diffère de celle des terrains plus anciens, en ce que le carbone diminue d'une manière très-marquée et se trouve remplacé par de l'oxygène. La composition de ces combustibles se rapproche ainsi de plus en plus de celle du bois

vivant, leur charbon devient en même temps de plus en plus sec. Le jayet de la craie donne encore à la carbonisation un coke fritté, tandisque les lignites des terrains tertiaires ne produisent plus qu'un charbon non métalloïde, dont les fragments n'adhèrent nullement, et qui se rapproche plus ou moins du charbon de bois.

Ce qui vient d'être dit des combustibles des terrains tertiaires ne s'applique néanmoins pas aux lignites passant au bitume, et aux bitumes proprement dits. Ceux-ci donnent au contraire un coke éminemment boursouflé, généralement très-peu abondant; mais ils se distinguent par leur très-grande fusibilité, qui a lieu quelquefois au-dessous de 100°. Ce genre de combustibles diffère de tous les précédents, dans sa composition, par la grande quantité d'hydrogène qu'il renferme.

IV. Combustibles de formation contemporaine.

Tourbe de Vulcaire, près d'Abbeville.

Cette tourbe est dans un état d'altération très-avancée, elle présente cependant encore çà et là quelques fragments de végétaux ayant conservé leur forme. Sa couleur est d'un brun très-foncé.

Poussière. . . . . . brune.

1,500 ont donné 0,123 de cendres composées :

de	0,090	carbonate de chaux,
et	0,033	d'argile.
	0,123	

0,302 ont donné 0,153 d'eau et 0,615 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène	5,63
Carbone.	56,31
Oxygène et azote	29,86
Cendres.	8,20
	100 »

ce qui donnerait, en déduisant les cendres :

Hydrogène	6,13
Carbone.	61,34
Oxygène et azote	32,53
	100 »

Nous remarquerons qu'il y a une légère incertitude dans cette composition. Cette incertitude tient à ce que la chaux n'est certainement pas à l'état de carbonate de chaux dans la tourbe, mais bien en combinaison avec quelqu'acide organique, comme l'acide ulmique ; ce qui le prouve, c'est que la tourbe ne donne pas d'effervescence avec les acides. Or, dans ce cas il faudrait ajouter à l'acide carbonique obtenu celui qui est resté à la fin de la combustion en combinaison avec la chaux, et ne compter dans la cendre que la chaux vive du carbonate. En faisant cette correction on trouve :

Hydrogène.	5,63
Carbone	57,03
Oxygène et azote. . . .	31,76
Cendres	5,58
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,96
Carbone.	60,40
Oxygène et azote . .	33,64
	100 »

Nous adopterons cette dernière composition, qui nous paraît plus exacte que la première.

Tourbe de Long, près Abbeville.

Cette tourbe est en tout semblable à la précédente.

0,998 ont donné 0,073 de cendres, composées de :

Carbonate de chaux. . .	0,064
Argile	0,009
	0,073

0,300 ont donné 0,160 d'eau et 0,622 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène.	5,93
Carbone	57,33
Oxygène et azote . . .	29,42
Cendres	7,32
	100 »

ou, déduction faite des cendres :

Hydrogène.	6,40
Carbone	61,86
Oxygène et azote. . . .	31,74
	100 »

Nous serons obligé de faire ici une correction analogue à celle que nous avons faite tout à l'heure pour la tourbe de Vulcaire, nous trouverons ainsi :

Hydrogène.	5,93
Carbone	58,09
Oxygène et azote. . . .	31,37
Cendres	4,61
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	6,21
Carbone	60,89
Oxygène et azote. . . .	32,90
	100 »

Tourbe du Champ-du-Feu, près de Framont (Vosges).

Cette tourbe est dans un état d'altération un peu moins avancé que les précédentes, elle ne renferme cependant que peu de plantes intactes.

1,258 ont donné 0,067 de cendres un peu jaunâtres, ne faisant pas effervescence avec les acides.

0,300 ont donné 0,165 d'eau et 0,627 d'acide carbonique, d'où :

Hydrogène.	6,11
Carbone	57,79
Oxygène et azote. . . .	30,77
Cendres	5,33
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	6,45
Carbone	61,05
Oxygène et azote. . . .	32,50
	100 »

Le petit tableau suivant renferme réunies les trois variétés de tourbes analysées, j'y ai joint la composition moyenne des diverses essences de bois, telle qu'elle résulte des analyses de MM. Schædler et Petersen, et la composition du charbon roux du Bouchet, employé à la fabri-

cation de la poudre. Voici les données de cette dernière analyse :

1,230 ont donné 0,010 de cendres.

0,302 ont donné 0,132 d'eau et 0,780 d'acide carbonique.

On déduit de là :

Hydrogène.	4,85
Carbone.	71,42
Oxygène et azote. . . .	22,91
Cendres	0,82
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	4,89
Carbone	72,01
Oxygène et azote. . . .	23,10
	100 »

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	COMPOSITION.				DÉDUCTION FAITE DES CENDRES.		
	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Cendres.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.
Tourbe de Vulcaire. .	57,03	5,63	31,76	5,58	60,40	5,96	33,64
Tourbe de Long . . .	58,09	5,93	31,37	4,61	60,89	6,21	32,90
Tourbe du Champ-du-Feu	57,79	6,11	30,77	5,33	61,05	6,45	32,50
Charbon roux de Bourdaine du Bouchet. .	71,42	4,85	22,91	0,82	72,01	4,89	23,10
Bois, composition moyenne	»	»	»	»	49,07	6,31	44,62

Les trois tourbes analysées présentent sensiblement la même composition. Le rapport entre les nombres d'atomes d'hydrogène et d'oxygène est presque exactement celui de 3 : 1; tandis que dans le ligneux intact ce rapport est de 2 à 1.

Le charbon roux du Bouchet renferme encore une quantité considérable d'oxygène et d'hydrogène, et par sa composition ce charbon imparfait se rapproche beaucoup de certains lignites.

Recherche de l'azote dans quelques combustibles minéraux.

J'ai dit au commencement de ce mémoire que toutes les houilles renfermaient une petite quantité d'azote, et qu'on pouvait s'en assurer facilement en les chauffant avec un peu de potasse caustique, le dégagement très-sensible d'ammoniaque qui a lieu dans cette circonstance met hors de doute l'existence de l'azote dans le combustible. J'ai décrit aussi le procédé qui m'a paru le plus convenable pour déterminer avec précision cette petite quantité d'azote. Je vais donner maintenant les résultats que j'ai obtenus sur quelques combustibles.

Anthracite de Lamure.

0,620 de cette anthracite séchée à 140° ont donné 3cc,2 de gaz à la température de 25° et sous la pression de 0,760. En introduisant une petite quantité de gaz oxygène dans la cloche, le gaz a un peu rougi, ce qui prouve qu'il y avait une trace de deutoxide d'azote, et par conséquent que l'azote a été trouvé un peu trop fort.

En faisant les corrections ordinaires sur le volume du gaz obtenu, on trouve :

Gaz sec à 0° et à 0,760. . . . 2cc,85

Ce qui donne en poids :

Gaz azote pour 100. . . . . . 0, 36

Si l'on joint ce résultat à ceux obtenus page 211, on trouve pour la composition de l'anthracite de Lamure :

Hydrogène	1,67
Carbone.	89,77
Oxygène.	3,63
Azote.	0,36
Cendres	4,57
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	1,75
Carbone.	94,07
Oxygène.	3,81
Azote	0,37
	100 »

Houille maréchale de la Grand'-Croix.

I. 0,860 de houille desséchée à 130° ont donné 14,3cc de gaz à 25°, et sous la pression de 0,764. Ce gaz a également un peu rougi par l'introduction d'une petite quantité de gaz oxygène; mais la diminution de volume qui a eu lieu dans cette circonstance a fait voir que la quantité de deutoxide d'azote ne pouvait être que très-faible.

En faisant les corrections habituelles, on trouve :

Volume du gaz à 0° et sous la pression de 0,760 .		12,7
ou en poids, pour 100. . .	azote.	1,87

II. 0,725 ont donné 9,8 centimètres cubes de gaz à 25° et sous la pression de 0,760. Ce gaz n'a pas rougi quand il a été mêlé avec du gaz oxygène.

Volume du gaz corrigé à 0° et 0,760.	8,72
Azote en poids, pour 100.	1,53

III. 0,743 ont donné 11,2 centimètres cubes de gaz à 23° et sous la pression de 0,757. Ce gaz n'a pas non plus rougi par l'introduction du gaz oxygène.

Volume du gaz corrigé à 0° et 0,760. . .	10^{cc},»
Azote en poids pour 100	1,70

En prenant la moyenne des trois résultats obtenus, nous admettrons que la houille maréchale de Rive-de-Gier renferme 1,70 d'azote. La composition de cette houille est donc :

Hydrogène.	5,14
Carbone	87,45
Oxygène	3,93
Azote.	1,70
Cendres.	1,78
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène	5,23
Carbone	89,04
Oxygène	4,»
Azote.	1,73
	100 »

Houille d'Obernkirchen.

0,783 ont donné 11,5 centimètres cubes de gaz, qui n'a pas rougi par l'introduction de quelques bulles de gaz oxygène. Température 24°; pression 0,762.

Volume corrigé du gaz à 0° et 0,760 . . .	10,27
Azote en poids, pour 100	1,66

et la composition de la houille d'Obernkirchen devient alors :

Hydrogène	4,83
Carbone.	89,50
Oxygène.	3,01
Azote	1,66
Cendres	1,»
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	4,88
Carbone	90,40
Oxygène	3,04
Azote.	1,68
	100 »

Lignite de Ellebogen.

0,870 ont donné 13,5 centimètres cubes de gaz à 22° et sous la pression 0,760. Le gaz a un peu rougi par l'introduction du gaz oxygène; mais la diminution de volume n'a été que très-faible.

Volume corrigé à 0° et sous la pression 0,760. . .	12,15
Poids de l'azote, pour 100.	1,77

En joignant ce résultat à ceux obtenus page 222, on trouve pour la composition du lignite d'Ellebogen :

Hydrogène.	7,46
Carbone	73,79
Oxygène	12,02
Azote.	1,77
Cendres	4,96
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	7,85
Carbone	77,64
Oxygène	12,65
Azote.	1,86
	100 »

Tourbe de Vulcaire, près d'Abbeville.

0,780 ont donné 14,5^{cc}, de gaz à 25° et sous la pression 0,761. Ce gaz n'a pas rougi par l'introduction du gaz oxygène.

Volume corrigé à 0° et sous la pression 0,760 . .	12,91
Azote en poids, pour 100	2,09

Composition de la tourbe de Vulcaire.

Hydrogène.	5,63
Carbone	57,03
Oxygène	29,67
Azote.	2,09
Cendres.	5,58
	100 »

ou, en déduisant les cendres :

Hydrogène.	5,96
Carbone.	60,40
Oxygène.	31,43
Azote.	2,21
	100 »

Ces résultats suffisent pour montrer entre quelles limites l'azote varie dans la composition des combustibles minéraux. La proportion en est très-faible dans les anthracites ; mais dans les autres combustibles elle varie entre 1,5 et 2 pour 100.

Dans les tableaux que nous avons formés des combustibles minéraux, nous avons compté comme oxygène seul la somme de l'oxygène et de l'azote, dans les colonnes où se trouvent indiqués les rapports atomiques entre le carbone, l'oxygène et l'hydrogène. Ces rapports ne sont, par conséquent, pas tout à fait exacts, mais la différence est de très-peu d'importance.

NOTICE

Sur le cuivre hydrosiliceux ferrifère, de Sibérie ;

Par M. A. DAMOUR.

Ce minéral est en masses amorphes d'une couleur brune foncée, et traversé en tous sens par de petites veines de cuivre carbonaté vert et de cuivre hydrosiliceux d'un vert sombre. Sa poussière est d'un jaune tirant sur le brun; il est fragile et est facilement rayé par une pointe d'acier. Chauffé jusqu'au rouge dans le tube fermé, il laisse dégager beaucoup d'eau en perdant environ 20 pour 100 de son poids; cette opération le rend attirable à l'aimant. Exposé sur le charbon, à la flamme du chalumeau, il reste infusible; il se dissout en partie dans le sel de phosphore, qu'il colore en vert bleuâtre, et laisse un squelette de silice. L'acide hydrochlorique concentré l'attaque facilement; la silice seule reste insoluble et se dépose en flocons légers.

J'ai fait deux analyses de ce minéral; la première sur un gramme, la seconde sur deux grammes. Elles m'ont donné les résultats suivants :

1re *analyse.*		Oxygène.	2e *analyse.*	
Silice.	0,177	0,091951	Silice.	0,364
Ox. cuivrique.	0,120	0,024208	Ox. cuivrique.	0,245
Ox. ferrique. .	0,492	0,150854	Ox. ferrique. .	1,050
Eau.	0,206	0,183111	Eau.	0,410
	0,995			2,069

L'eau a été dosée à part, sur une quantité pesant 1 gramme. J'avais eu soin de faire un triage exact de la substance en question, en me servant d'une loupe, afin d'écarter tout mélange visible de silicate ou de carbonate de cuivre.

Le minéral, réduit en petits fragments, a été séché sous une cloche qui recouvrait une capsule renfermant de l'acide sulfurique concentré; il a été ensuite pesé dans un creuset de platine couvert, puis exposé avec précaution à la chaleur rouge; cette opération lui a fait perdre $0^{gr.},206$.

Avant de déterminer les proportions des autres parties constituantes du minéral, je cherchai à m'assurer si le fer qu'il contient s'y trouve à l'état d'oxide ferreux ou à celui d'oxide ferrique. A cet effet, je fis dissoudre, à l'aide de l'acide hydrochlorique étendu d'eau, une portion de la matière, placée au fond d'un ballon fermant exactement et préalablement rempli de gaz acide carbonique. La dissolution fut étendue d'eau purgée d'air, et l'addition de quelques gouttes de cyanure ferrico-potassique y produisit un précipité assez abondant, de couleur jaune nuancée de verdâtre. Ce précipité provenait, en presque totalité, de la présence de l'oxide cuivrique, mais sa couleur verdâtre devait laisser croire aussi qu'il y avait eu formation de bleu de Prusse, due à la présence d'une petite quantité d'oxide ferreux. Une autre portion de la substance a été dissoute dans l'acide hydrochlorique, avec les mêmes précautions, puis mêlée avec du chlorure-aurico-sodique. Je n'ai pu y découvrir aucune trace sensible d'or réduit. Ces résultats m'ont amené à conclure que le fer se trouvait, dans ce minéral, à

l'état d'oxide ferrique, contenant probablement quelques traces d'oxide ferreux.

Un gramme de poudre sèche du minéral a été ensuite dissous dans l'acide hydrochlorique concentré, la dissolution évaporée à siccité, reprise par l'acide hydrochlorique faible et filtrée. Il est resté 0gr.,177 de silice. La liqueur filtrée a été soumise à l'action d'un courant de sulfide hydrique. Le précipité de sulfure de cuivre qui en est résulté a été recueilli sur un filtre, lavé avec de l'eau chargée de sulfide hydrique et séché. Redissous dans l'acide nitrique, et précipité à chaud par la potasse caustique, il a donné 0gr.,120 d'oxide cuivrique.

La liqueur, séparée du sulfure de cuivre, a été évaporée lentement, chauffée avec quelques gouttes d'acide nitrique et précipitée par l'ammoniaque. L'oxide ferrique a été lavé pendant longtemps, puis séché et chauffé au contact de l'air, jusqu'au rouge vif; sa proportion s'élevait à 0gr.,492.

Si l'on pouvait réunir l'oxygène des oxides cuivrique et ferrique, on aurait à peu près ce rapport très-simple :

Oxygène de la silice.	0,091951		1
— de l'ox. cuivrique.	0,024208	0,175062	2
— de lox. ferrique. .	0,150854		
— de l'eau.	0,183111		2

Mais ces deux oxides n'étant point de même formule atomique, il est difficile d'admettre une semblable combinaison ; si, au contraire, on combinait tout l'oxide ferrique avec la quantité d'eau nécessaire pour constituer l'espèce connue sous le nom de *limonite*, on aurait :

Ox. ferrique.	0,492
Eau	0,092
Limonite	0,584

Il ne resterait plus qu'à combiner le reste de l'eau avec la silice et l'oxide cuivrique, et l'on aurait le rapport suivant :

			Rapports.
Silice	0,177	0,091951	4
Ox. cuivrique. . . .	0,120	0,024208	1
Eau.	0,115	0,102221	4
	0,412		

Ce minéral présenterait alors l'union intime de la *limonite* avec un *silicate hydraté de cuivre*, de nouvelle formule ; quoi qu'il en soit, il m'a paru devoir constituer une espèce distincte.

NOTICE

Sur le zinc sulfuré cadmifère de la mine de Nuissière, près Beaujeu (Rhône);

Par M. A. DAMOUR.

La présence du cadmium a déjà été constatée, à diverses reprises, dans certains minerais de zinc, de Silésie, de Bohême et de Bretagne; tout porte à croire que ce métal existe en beaucoup d'autres lieux. Parmi les différentes substances minérales rapportées de la mine de plomb de Nuissière, près Beaujeu, par M. Danhauser, ce naturaliste me fit remarquer une blende de couleur rougeâtre, tantôt en cristaux, tantôt formant des veines dans une gangue de quartz, et dont l'aspect lui fit présumer qu'elle pouvait renfermer un métal différent du zinc. Un essai au chalumeau, sur quelques fragments du minéral, me permit bientôt d'y reconnaître la présence du cadmium.

Pour savoir dans quelles proportions ce métal s'y trouvait renfermé, j'en fis dissoudre 5 grammes dans un mélange d'acide sulfurique et d'acide nitrique; la dissolution fortement acide, et séparée du soufre par la filtration, fut étendue d'eau et soumise à l'action d'un courant de sulfide hydrique. Lorsque la liqueur fut saturée par ce gaz, le précipité jaune-brunâtre qui en était résulté fut recueilli sur un filtre, lavé avec soin et dissous dans l'acide hydrochlorique. La dissolution filtrée et précipitée par le carbonate ammoniacal en excès a donné un hydrate cadmique blanc, qui, lavé et chauffé fortement, a laissé

$0^{gr.},065$ d'oxide cadmique jaune brunâtre. La liqueur ammoniacale avait une légère teinte bleue; j'y ai versé quelques gouttes de sulfhydrate ammonique qui ont déterminé la formation d'un léger précipité noir composé en entier de sulfure de cuivre.

La dissolution acide, séparée du sulfure de cadmium, ne contenant que de l'oxide de zinc et une petite quantité d'oxide ferreux, je n'ai pas cru nécessaire de déterminer les proportions de ces deux oxides.

La blende cadmifère de Nuissière est, dans sa cassure fraîche, en petites lamelles d'un brun rougeâtre; ses cristaux, qui sont généralement très-petits, sont des octaèdres réguliers ou des dodécaèdres à faces rhomboïdales. Lorsqu'on la pulvérise, elle exhale une odeur prononcée d'hydrogène sulfuré. Exposée sur le charbon, à la flamme du chalumeau, elle s'entoure d'un anneau brunâtre (indice du cadmium). Du reste, elle présente tous les caractères des blendes. Elle est en veines dans une gangue quartzeuse, et se trouve associée à la baryte sulfatée et à de petites quantités de cuivre pyriteux qu'il est difficile d'en séparer complétement.

D'après l'essai qui précède, elle contiendrait, sur 100 parties, 1,136 de cadmium.

NOTICE

Sur les différentes modifications qui ont été apportées au frein dynamométrique ;

Par M. F. GARNIER, Ingénieur en chef des mines.

La dernière livraison des *Annales des mines* contient un mémoire fort étendu de M. l'ingénieur de Saint-Léger, sur les modifications qu'il a introduites dans la disposition du frein dynamométrique, dont M. de Prony a donné la théorie en 1821, et au moyen duquel il a pu apprécier, non-seulement l'effet dynamique d'une machine à vapeur établie au Gros-Caillou et destinée à assurer le service des eaux de Paris, mais encore la quantité de charbon qu'elle consommait pour produire cet effet.

L'emploi du frein étant devenu général pour mesurer la quantité d'action disponible des moteurs, la commission des *Annales des mines* a pensé qu'il serait utile de rappeler dans une simple notice les modifications que cet appareil a subies, et elle m'a chargé de la rédiger. L'exposé succinct de ces modifications aurait été très-convenablement annexé, sous forme d'annotation, au mémoire de M. de Saint-Léger; mais l'impression de ce mémoire était terminée lorsque j'ai dû m'occuper de la rédaction de la présente notice.

Ainsi que le fait remarquer cet ingénieur, le frein, dans son état originaire, est peu maniable,

surtout lorsqu'il s'agit de mesurer la force de puissantes machines. Il est certain que l'inégalité de frottement, qui se développe en divers points des surfaces en contact, donne naissance à des à-coups, à des soubresauts assez nombreux pour qu'il soit difficile de déterminer exactement le poids propre à maintenir, dans une position horizontale, le levier du frein.

J'ai eu souvent occasion, dans l'exercice de mes fonctions, de faire usage de cet appareil pour estimer la quantité d'action disponible de machines à vapeur, et j'ai constamment remarqué que le frottement développait une telle température au contact des surfaces du frein garnies de plaques de tôle, et du manchon en fonte qu'on adapte ordinairement à l'arbre tournant, qu'il s'échappait de la fonte et du fer de nombreuses étincelles dont je ne pouvais arrêter la production qu'en lançant, pendant tout le temps que durait l'expérience, un jet d'eau sur les faces latérales du manchon et des mâchoires du frein.

Il faut cependant reconnaître que le dispositif de cet appareil était, dans l'origine, fort simple, et présentait des avantages réels. M. Poncelet les signale, avec une grande clarté, dans le passage suivant, extrait du rapport qu'il a lu à l'Académie des sciences, au nom d'une commission chargée par elle de lui rendre compte du mémoire de M. de Saint-Léger.

« Toutes les parties matérielles, autres que le » contre-poids, se faisaient mutuellement équi» libre autour de l'axe de la machine, au moyen » d'un second levier de mêmes dimensions ser» vant de coussinet inférieur au frein, et dis-

» posé au-dessous de l'axe en sens contraire du » premier, de manière à limiter dans ce sens » l'étendue du mouvement de rotation ou d'os- » cillation du système : une pareille disposition » offrait à la fois l'avantage de prévenir les acci- » dents, de dispenser de tenir compte à part du » poids de l'appareil dans les calculs, et de faire » éviter, dans l'équilibre, une cause d'instabilité » distincte de celle qui provient du mode d'action » du contre-poids, et qui résulte des variations ra- » pides et contraires que peut subir le moment » dû au poids propre d'un frein dont le centre de » gravité serait situé à une certaine distance de » l'axe de rotation, et en dehors du plan horizon- » tal qui contient cet axe. »

M. Egen, ingénieur prussien, et après lui M. Arthur Morin, ont cherché à rendre plus stable la position horizontale du frein. Les moyens qu'ils ont employés pour y parvenir ont été publiés par le premier, dans un ouvrage en allemand ayant pour titre : *Recherches sur les effets de quelques machines mues par l'eau, qui existent dans la Westphalie Rhénane*; par le second, dans un ouvrage intitulé : *Expériences sur les roues hydrauliques à aubes planes, et sur les roues hydrauliques à augets*, ouvrage dont l'analyse a été insérée dans la dernière livraison des *Annales des mines*. Ces moyens consistent principalement à adapter, sur l'arbre tournant, un manchon en fonte et à gorge, composé de deux parties égales, lequel est centré et fixé d'une manière invariable sur cet arbre à l'aide de vis et de coins. Une chaîne composée de plaques de tôle articulées embrasse une grande partie de la gorge de ce manchon, et est terminée par deux

demi-mailles femelles renforcées, qui reçoivent les têtes évidées de deux boulons. Au moyen de ceux-ci, et de rondelles et d'écrous, on est toujours à même d'exercer, à la surface supérieure du bras du frein, une pression telle que le frottement qu'elle engendre soit constamment égal au poids dont l'appareil est chargé multiplié par son bras de levier, le tout divisé par le rayon du manchon.

L'emploi d'une semblable chaîne contribue beaucoup à la facilité et à l'exactitude des expériences. Elle est, en effet, susceptible de s'appliquer en presque tous ses points sur la gorge du manchon adapté à l'arbre tournant de la machine dont on veut connaître la puissance. Le frottement, dans ce cas, se répartit à peu près également sur toute l'étendue des surfaces en contact. Les à-coups ou soubresauts sont moins fréquents, et par suite les oscillations du frein peu sensibles. Cette chaîne agit enfin à la manière d'une courroie sur un tambour dont le frottement croît comme une fonction exponentielle de l'arc embrassé. On avait d'abord fait usage d'une simple feuille de tôle; mais, en raison de l'épaisseur qu'il était nécessaire de lui donner, elle présentait une rigidité qui s'opposait, dans le moment de sa tension, à ce que tous les points s'en appliquassent sur la surface extérieure du manchon ou de l'arbre tournant. La totalité du frottement, qui est toujours égale, lorsque le frein est horizontal, à l'effort du moteur, se concentrait alors en quelques points seulement, et l'on se rend facilement compte des graves inconvénients qui résultaient de cet état de choses.

On doit à M. Barrois, propriétaire d'une fila-

ture à Lille, une importante modification dans l'emploi du frein. La position inclinée que prend le bras de levier, et qu'il conserve sous le même angle pendant tout le temps de l'expérience, a fait donner à l'appareil le nom de frein oblique ou de frein pendule. La description en a été insérée, avec un dessin, dans le 8e volume du journal *l'Industriel.* Ce frein consiste dans deux pièces de bois que l'on serre avec des boulons et des écrous sur un arbre tournant. L'une et l'autre sont garnies, dans leur partie évidée sous forme circulaire, de fortes plaques de tôle pour résister au frottement. Des poids sont adaptés à l'extrémité de la plus longue de ces pièces, ainsi qu'un indicateur servant à marquer, sur un quart de cercle gradué et qu'on peut tracer sur le mur, la position que prend le bras de levier du frein par l'effet du frottement.

Lorsque l'appareil est disposé sur l'arbre ou sur le manchon qui lui est adapté, et que l'on serre convenablement les écrous, le bras du frein s'éloigne de la verticale, et forme avec elle un angle dont la grandeur dépend de l'intensité du frottement qui se développe dans toute la partie des surfaces en contact. Connaissant cet angle et la vitesse de l'arbre tournant, il est facile d'estimer la quantité d'action disponible du moteur par la formule :

$$m = 0{,}001309\, \psi R n \sin.\varphi.$$

m exprime le nombre de chevaux que représente la machine (la force du cheval étant supposée égale à celle qui élèverait un poids de 75 kil. à 1 mètre de hauteur par seconde).

ψ, le poids de tout l'appareil exprimé en kilogrammes.

R, la distance qui existe entre l'axe de l'arbre tournant et le centre de gravité du frein.

φ, l'angle que font entre elles deux lignes situées dans un plan vertical, et qui passent l'une par l'axe de rotation et le zéro de la division tracée sur le quart de cercle, l'autre par ce même axe et le centre de gravité du frein.

n, le nombre de tours, par minute, de l'arbre tournant.

Dans les expériences que l'on a faites avec le frein pendule, les mâchoires étaient garnies de feuilles de tôle; mais il est hors de doute qu'on aurait trouvé de grands avantages à remplacer la mâchoire inférieure par une chaîne composée de plaques de tôle articulées, et disposée comme celle qui fait partie essentielle du frein qu'ont employé MM. Egen et Arthur Morin. Aussi suis-je convaincu que lorsque les circonstances locales permettront de faire usage du frein pendule et d'une semblable chaîne, on aura un moyen aussi simple qu'exact d'apprécier la quantité d'action disponible qu'un moteur est susceptible de développer.

D'après une série d'observations qui m'ont été communiquées en 1829, et qui ont eu pour but de déterminer la force d'une machine à vapeur établie dans la grande filature de laines de Marcq en Barœuil, près de Lille,

L'angle φ a été relevé de demi-minute en demi-minute; sa valeur moyenne, déduite de quarante-quatre observations, a été de. . . . . 42° 53′

Le frein pesait, compris le poids qui y était ajouté ainsi que celui des rondelles et des boulons . . . . 681 kilog.

La distance du centre de gravité de l'appareil à l'axe de rotation était de. . $1^m,892$

La grande roue, montée comme le volant, sur l'arbre de la manivelle, avait. . . . . 152 dents

La roue d'engrenage servant de pignon et centrée sur l'arbre horizontal qui transmettait, au moyen de cordes sans fin et de tambours, le mouvement de la machine aux divers métiers de la filature, avait (1). . . . . 33 dents

Le nombre de tours de la manivelle était par minute de. 13,04

En substituant dans la formule les nombres ci-dessus, et en y introduisant comme multiplicateur le rapport $\frac{152}{33}$, pour avoir le nombre de tours de l'arbre de transmission de mouvement aux métiers, on trouve que sous une tension de vapeur de 3 atmosphères 70 centièmes, la machine représentait une force de $68^{\text{chevaux}},65$.

Quoique les expériences aient eu lieu dans des circonstances défavorables, puisqu'on ne s'est pas servi de manchon, bien que l'arbre de la petite roue d'engrenage fût d'un faible diamètre, on n'a pas moins, et nonobstant la grande vitesse de cet arbre, conservé le frein dans une même position pendant près de trois quarts d'heure, et obtenu une valeur très-approximative de l'angle φ. Tout porte même à penser qu'on aurait pu prolonger les expériences, s'il n'était pas survenu un accident à la pompe alimentaire, et si par suite l'alimentation des chaudières n'avait pas été tout à coup inter-

(1) Le frein avait été placé sur cet arbre et près de la roue d'engrenage.

rompue. Sans cet accident, il eût été facile de déterminer la quantité de combustible que consomme cette machine sous une tension donnée.

Les modifications apportées par M. Barrois au frein dynamométrique évitent de longs tâtonnements, et s'opposent à ce que les oscillations du levier puissent donner lieu à des accidents, surtout si le poids dont on le charge ne permet pas qu'il s'élève jusqu'à un plan horizontal passant par l'axe de l'arbre tournant. M. Barrois fait en effet observer que, lorsque le frottement augmente accidentellement, le frein s'élève et produit une résistance croissante, de sorte que l'équilibre se rétablit presque aussitôt. Il en est de même lorsque le bras de levier s'abaisse, c'est-à-dire lorsque le frottement diminue. De semblables effets ne peuvent avoir lieu avec un frein dont le bras de levier est horizontal.

Quel que soit le mode d'emploi du frein, il sera toujours indispensable, pour opérer avec sécurité et obtenir des résultats exacts, d'éviter l'échauffement des surfaces en contact, et leur grippement réciproque par l'injection d'un filet d'eau. M. Poncelet, dans son rapport précité, s'exprime ainsi à ce sujet :

« Dans l'appareil de l'ingénieur allemand, les » surfaces frottantes sont enduites d'huile au moyen » d'un dispositif à alimentation continue, et il n'y » a pas plus lieu alors de craindre l'échauffement » de ces surfaces que celui des tourillons de beau- » coup de machines très-puissantes, surtout si, » comme l'auteur le recommande, on a soin d'en- » velopper extérieurement les joues du collier de » linge entretenu dans un état d'humidité conve- » nable. D'autres expérimentateurs, ainsi que » nous avons déjà eu occasion d'en faire la remar-

» que, se sont servis avec succès d'un simple arro-
» sage produit par un filet d'eau constant, intro-
» duit, comme dans le cas précédent, entre les
» surfaces frottantes, par une ouverture pratiquée
» à la partie supérieure du frein. »

Je n'ai pas cru nécessaire de donner, dans cette notice, une description détaillée des différentes modifications qu'on a jusqu'à ce jour fait subir au frein dynamométrique, cette description se trouvant dans les divers ouvrages que j'ai cités.

M. Poncelet a indiqué les moyens de régulariser spontanément l'action et le mouvement d'oscillation du frein dynamométrique, en mettant à profit les excursions du levier, de part et d'autre de sa position moyenne, que l'on suppose être horizontale.

Plusieurs moyens sont indiqués, à cet effet, et font l'objet de deux notes insérées, la première à la suite du rapport de la commission sur le travail de M. de Saint-Léger, dans le n° 19 du Compte rendu des séances de l'Académie des sciences, année 1837; la seconde dans le n° 23 de ce Compte rendu pour la même année.

L'un de ces moyens, celui qui est ci-après décrit, est analogue aux mécanismes dont on fait usage pour régler le jeu des vannes ou soupapes motrices dans l'application du régulateur à force centrifuge aux machines.

Un axe en fer, disposé parallèlement à la face supérieure du frein, est terminé par des vis sans fin, qui engrènent avec les pignons ou écrous dentés adaptés aux vis de pression à l'aide desquelles on tend la chaîne de friction qui embrasse la gorge du collier centré sur l'arbre tournant. Au moyen de cet axe, il est facile d'obtenir un mou-

vement tel que l'extrémité du levier du frein ne puisse s'écarter de sa position moyenne d'une quantité assignée, sans que les vis sans fin ne soient aussitôt mises en action pour desserrer ou resserrer les écrous du frein d'une quantité qui dépend de l'amplitude du mouvement qu'éprouve l'extrémité de ce levier.

Une poulie à gorge, adaptée à l'arbre tournant, communique le mouvement de cet arbre au moyen d'une corde sans fin, à une autre poulie d'un plus petit diamètre. A l'une des extrémités de l'axe de cette seconde poulie, est fixée une roue d'angle qui engrène avec deux autres roues de même espèce tournant à frottement doux sur l'axe qui leur sert de support.

Un manchon d'embrayage, qui est poussé à droite ou à gauche par le moyen qu'indiquent les *fig.* 1 et 2 de la *Pl. V*, permet aux vis sans fin d'agir, d'une manière symétrique, sur les vis de la chaîne de friction, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, selon que l'extrémité du bras du frein est en dessus ou en dessous de sa position moyenne. Ce mouvement des vis sans fin produit sur les vis de pression, par l'intermédiaire des écrous dentés qui y sont adaptés, l'effet qu'on veut obtenir.

Il suffira de régler convenablement les dimensions des diverses parties du mécanisme dont il s'agit, pour que l'action ne s'en exerce qu'avec douceur et uniformité, nonobstant la vitesse souvent assez grande de l'arbre tournant.

Les *fig.* 1 et 2 sont, l'une et l'autre, construites sur une échelle de 5 centimètres par mètre, et donnent une idée suffisante des proportions que

doivent avoir les principales parties du mécanisme.

Il n'est pas douteux, d'après ce qui précède, qu'il ne soit possible d'obtenir, de l'excursion même de l'extrémité libre du bras du frein, un moyen de régulariser spontanément l'action et le mouvement d'oscillation qu'il éprouve; mais les dépenses, qu'entraînerait l'exécution du mécanisme propre à réaliser cet effet, devant accroître de beaucoup le prix du frein dynamométrique, je pense qu'on s'en tiendra, dans presque tous les cas, à l'emploi pur et simple d'un ou de deux ouvriers pour serrer ou desserrer, au besoin, les écrous des vis de pression.

EXPLICATION DES FIGURES 1 ET 2

DE LA PLANCHE V.

AA. Levier du frein.

BB. Collier à gorge en fonte que l'on centre sur l'arbre tournant C.

I, I, I. Vis servant à centrer le collier BB.

DD, DD. Vis de pression au moyen desquelles on tend la chaîne articulée contre la gorge de ce collier.

E, E. Ecrous dentés, adaptés aux vis de la chaîne de friction.

FF. Axe en fer dont les extrémités sont terminées par les vis sans fin *a, a*. Les filets de ces vis ont des directions respectivement parallèles, afin que les vis de pression agissent toutes deux en même temps pour tendre ou détendre la chaîne de friction.

GG. Poulie motrice du régulateur que met en mouvement la corde sans fin GHGH. Cette corde passe sous une plus grande poulie qui fait corps avec le collier BB, ou qui est montée à part sur l'arbre tournant.

bb. Roue d'angle fixée sur l'arbre horizontal de la poulie GG. Cette roue conduit simultanément les deux autres roues d'angle *cc*, *cc* qui tournent à frottement doux sur l'axe FF.

oo. Manchon à griffes qui embraye alternativement avec les roues d'angle *cc*, *cc*, lorsque sa gorge vient à être poussée de droite ou de gauche, par le bouton ou la fourche dont est armée l'extrémité de la verge *ii*. Cette verge est fixe dans l'espace pendant que le levier AA du frein oscille de part et d'autre, de sa position moyenne.

KK. Chevalet servant à soutenir la tige ou verge *ii*.

De l'état de la fabrication du fer, et de l'avenir des forges en France, et sur le continent de l'Europe;

[Par M. GUENYVEAU, Ingénieur en chef et professeur de minéralurgie à l'École royale des mines de Paris.

Au point où se trouve actuellement (1) l'industrie métallurgique du fer, on doit distinguer différentes méthodes de traitement employées dans les diverses contrées, et qui, le plus ordinairement, ont des rapports nécessaires avec les éléments de la production de ce métal, et surtout avec la nature et le prix des combustibles dans les localités où les usines sont établies : mais en même temps, et par une conséquence à laquelle jusqu'ici on n'a pu se soustraire, la qualité et par suite les prix des fers fabriqués, dépendent beaucoup des procédés employés pour les préparer, bien que la nature des minerais et des combustibles dont on fait usage, conservent encore une grande influence dans la plupart des cas.

Nous nous proposons de faire connaître quelles sont, parmi ces méthodes, celles qui sont le plus particulièrement applicables dans diverses localités; et, dans les circonstances actuelles, les améliorations qu'elles peuvent ou doivent éprou-

(1) En 1837, et d'après ce que j'ai observé en France, en Belgique et en Allemagne, dans des voyages que j'ai faits en 1834, 1836 et 1837, par ordre de M. le directeur général des ponts et chaussées et des mines.

ver, et qui doivent influer le plus sur *l'avenir* des forges.

But et résultat, dans l'intérêt des maîtres de forge.

Le but et le résultat de cet examen importent beaucoup aux propriétaires et directeurs des usines à fer, en ce sens qu'ils y trouveront une annonce des changements que doivent subir tôt ou tard les procédés de fabrication, la situation même de certaines forges, et surtout une direction utile pour opérer à temps les modifications dans les procédés, que la marche et les progrès de l'industrie rendent inévitables, sous peine d'une décadence et peut-être d'une ruine complète pour ceux qui s'obstineraient à vouloir lutter contre la nature des choses.

Il ne faut pas se le dissimuler; nous sommes à une époque de changements importants dans l'industrie du fer : l'énorme consommation qu'on fait annuellement de ce métal; l'emploi toujours croissant du combustible végétal, en opposition avec la diminution également progressive des forêts; enfin, la nécessité d'abaisser les prix de fabrication; tout cela doit faire multiplier les essais et les efforts de toute espèce pour perfectionner la fabrication et pour la rendre plus économique, relativement au combustible consommé; on arrivera nécessairement à créer des procédés nouveaux qui amèneront des changements inévitables et très-importants (dont on aperçoit déjà des indices bien prononcés) dans les avantages relatifs des diverses usines à fer, en raison de leur situation, des combustibles et des forces motrices dont elles font usage.

Je demande qu'on me permette, avant d'entrer en matière, de faire remarquer que si tout ce qui intéresse l'avenir de l'industrie ne se mani-

feste pas immédiatement aux hommes qui s'occupent de l'exploitation des usines, c'est parce qu'ils ne peuvent voir l'ensemble des établissements métallurgiques, pour en saisir les rapports; c'est parce qu'ils n'ont pas le loisir nécessaire pour parcourir un grand nombre de provinces et pour y observer l'état de l'industrie, ses développements, ses besoins, ses craintes et ses espérances.

Ce que peuvent et doivent faire les ingénieurs du corps des mines.

Mais ces vues d'ensemble appartiennent évidemment aux ingénieurs de l'administration, qui sont convenablement placés pour cela; je crois donc faire une chose utile, et, en même temps remplir un devoir, en acceptant cette tâche, et en publiant des recherches et des considérations déduites des nombreuses observations faites dans mes voyages, et qui, je l'espère, ne seront pas indignes de l'attention de tous ceux qui s'occupent des progrès de la fabrication du fer.

Les faits que nous rapporterons, et surtout les conséquences que nous en voulons déduire, s'appliquent à la totalité des usines de l'Europe, mais bien plus particulièrement à celles de la France; elles seraient même dépourvues de justesse comme d'intérêt pour la Grande-Bretagne, dont les établissements, ainsi que les procédés qu'on y pratique, forment une classe à part parmi ceux que nous offre la technologie générale du monde.

1er genre de perfectionnement.

Deux sources de perfectionnement dans la fabrication du fer se présentent naturellement: on peut espérer de voir créer de nouveaux procédés, ainsi qu'il est arrivé en Angleterre, dans le dernier siècle; ou du moins on peut voir employer de nou-

veaux agents, soit de séparation pour des substances nuisibles, soit de combinaison.

Tel serait, pour l'affinage de la fonte, l'emploi de la vapeur d'eau, de l'air préalablement échauffé, de l'oxide de manganèse ou du nitre, du sel marin, dans l'intérieur des fours de puddlage.

Mais jusqu'ici les essais qui portent sur le principe même des opérations, et sans doute parce qu'ils sont les plus difficiles à bien faire, et parce qu'ils offrent le moins de chances de succès immédiats, ont été peu suivis, et même presque toujours repoussés par les fabricants.

L'administration doit se charger de faire les essais relatifs à ce 1er genre de recherches.

Ce serait surtout pour cette classe de recherches que les secours directs du gouvernement sont à réclamer et doivent être accordés largement; car nous sommes convaincus que, d'ici à un certain nombre d'années, les procédés de fabrication devront être, si ce n'est complétement changés, du moins considérablement modifiés, soit pour le traitement des minerais ou la fabrication de la fonte, soit, et plus vraisemblablement et plus prochainement encore, pour la fabrication du fer en barres.

Les idées que l'on peut avoir à cet égard, et les aperçus que la réflexion peut produire, ne sauraient avoir d'influence notable sur la pratique, tant qu'ils ne seront pas appuyés et corroborés par des expériences positives.

Or, il est des essais, des recherches expérimentales, qui, en raison des connaissances qu'elles supposent, du temps, des soins et des dépenses qu'elles exigent, et enfin de l'incertitude d'un résultat avantageux sous le rapport financier, ne peuvent être entreprises que pour le compte et sous la

direction du gouvernement, et dans des usines appartenant à l'état, et travaillant en régie (1).

2e genre de perfectionnement.

L'autre genre de perfectionnement, ou plutôt d'amélioration, résultera des modifications moins importantes, des changements moins essentiels qu'on introduira, et que l'on cherche déjà à introduire, dans les procédés connus et suivis depuis un laps de temps plus ou moins long : ils consistent principalement dans un meilleur emploi de la chaleur et du combustible qui la produit, ce qui est, comme nous l'avons dit en commençant, un des points les plus dignes d'attention en ce moment; la substitution d'un combustible à un autre, dans quelques opérations où la nature de ces substances n'a pas d'influence nuisible, est encore un moyen d'amélioration, si ce n'est en produisant une économie absolue de la matière combustible, du moins en permettant de réserver le plus rare, le plus cher ou le plus précieux, pour des opérations où il est encore indispensable.

Les perfectionnements relatifs à l'emploi de la chaleur, et à l'économie du combustible et des forces motrices, sont les plus urgents et les plus faciles à opérer.

D'ailleurs on est évidemment encore bien loin de la limite des économies que l'on peut faire sur le combustible, et la masse de ce qui en est perdu et brûlé annuellement, sans autre cause que l'imperfection des appareils et de la manière dont la chaleur est appliquée, est énorme, et dépasse sans doute de beaucoup la quantité qui serait strictement nécessaire pour obtenir les mêmes effets, ou donner les mêmes produits.

Il y a visiblement beaucoup à espérer de l'introduction de nouveaux appareils, du perfectionnement des anciens, et de tous les essais auxquels

(1) C'est dans cette classe que doivent être rangées les vues que j'ai proposées dans mes *Nouveaux procédés pour fabriquer la fonte et le fer*.

ou se livre maintenant dans diverses usines du royaume, et en Allemagne. On observe même déjà des résultats avantageux dus à des dispositions nouvelles, ingénieuses et bien entendues, qu'il faudrait voir se propager dans les forges du centre et de l'ouest de la France, et nous désirerions que la présente publication pût y contribuer efficacement.

Les moyens plus ou moins simples et avantageux de tirer parti *des combustibles* et *des forces motrices* à l'usage des usines à fer (principalement des cours d'eau), sont les deux points importants qui doivent attirer l'attention des maîtres de forge, parce que ce sont les deux objets qui laissent le plus à désirer dans les anciennes usines, et sur lesquels les améliorations à faire sont le moins coûteuses et du succès le plus assuré.

Pour ce 2e genre de perfectionnement, l'administration peut se borner à accélérer la propagation des meilleurs procédés.

Le second genre de perfectionnement, dont nous venons de parler, est le mieux compris et le plus généralement suivi par les propriétaires d'usines, et, en raison de cela, le gouvernement peut se borner à faciliter et à rendre plus prompte la propagation des procédés reconnus pour être les meilleurs; mais il doit accepter cette tâche, et faire quelque chose dans cette vue, car il en est dont l'avantage n'est point contesté, dont l'application, à de certaines localités, n'éprouverait aucune difficulté, et procurerait des bénéfices assurés, et qui cependant restent comme cantonnés dans les contrées qui les ont vus naître, et ne sont même qu'imparfaitement connus ailleurs; j'en donnerai dans la suite plusieurs exemples.

Ce qu'auront à faire les ingénieurs en station auprès des usines à fer.

C'est ici surtout que le rôle de l'administration est tout tracé, et que les ingénieurs peuvent rendre d'éminents services à l'industrie, en indi-

quant les cas où les divers procédés sont applicables avec le plus d'avantages; en montrant les moyens de les employer, et surtout en leur faisant subir les modifications que les circonstances locales, ou les éléments dont on dispose, peuvent rendre nécessaires, et sans lesquelles ils demeureraient stériles ou même seraient repoussés, comme nous le voyons pour tant de bonnes choses mal appliquées.

Mais avant d'appeler le concours direct de l'administration et des ingénieurs, il faut faire connaître quels sont les améliorations et les procédés dont il est le plus urgent de s'occuper; il faut procurer à ceux-ci des descriptions détaillées des opérations, afin qu'ils puissent d'abord se former une opinion bien réfléchie de la nature des procédés qu'on leur recommande; et ensuite, pour les proposer ou même les faire exécuter, sans hésitation comme sans incertitudes, il faut qu'ils aient en eux-mêmes, et que les autres aient en eux, cette confiance qui est en même temps la cause et la preuve des services qu'ils peuvent rendre à l'industrie minérale en France.

Tel est le but principal de ce mémoire et de quelques publications qui le suivront, et dont j'indiquerai l'objet à mesure que l'ordre des matières le rendra convenable.

L'exposé qui va suivre se rapporte au second genre de perfectionnements que nous avons distingués, et principalement à ceux qui ont pour résultat l'économie du combustible, ou un meilleur emploi de la chaleur; enfin à l'emploi des différents combustibles à de certaines opérations.

Nous ajouterons tout de suite, et pour n'y plus revenir, quelques considérations sur ce qui arri-

vera lorsque les procédés, dont nous avons connaissance actuellement, se seront étendus et propagés comme ils sont appelés à le faire, et auront produit toutes leurs conséquences.

Nous verrons qu'il en doit résulter, un peu plus tôt ou un peu plus tard, un changement (complet en certains cas) dans les rapports existants entre les diverses usines à fer du royaume, touchant leurs avantages, la quantité et la qualité de leurs produits, les *prix de revient* de ces derniers, etc. : cela est surtout évident et inévitable pour celles qui consomment actuellement du charbon de bois.

Conséquences des perfectionnements relatifs à l'emploi du combustible, supposés généralement adoptés.

De sorte que, de l'adoption générale des perfectionnements dont il nous reste à parler, il s'ensuivra, comme conséquence, 1° un changement notable (mais qui ne peut cependant s'effectuer en peu de temps), dans la situation actuelle de la plupart de ces usines; 2° une diminution considérable dans la quantité de combustible végétal consommé annuellement pour fabriquer du fer, ou bien, ce qui doit être considéré comme également avantageux à la société, une beaucoup plus grande masse de métal sera fabriquée avec le combustible qui se brûle aujourd'hui dans les usines à fer.

Ainsi, l'une de ces conséquences importe à l'intérêt particulier des maîtres de forge, en leur indiquant ce qui doit arriver, et comment ils pourront soutenir la concurrence des usines qui prendront les situations devenues les plus favorables, en raison des nouveaux procédés qui s'annoncent.

La seconde de ces conséquences importe à l'intérêt général, en ce qui concerne l'économie du

combustible, ou une plus grande quantité de fer fabriquée annuellement.

Considérations qui intéressent l'administration générale des mines et usines du royaume.

Enfin, ce qui ne saurait être indifférent au ministère du commerce et de l'industrie, non plus qu'à l'administration spéciale des mines et usines du royaume, c'est ce qui résulte de l'exposé qui va suivre, et où l'on trouvera la démonstration de cette assertion, que *les maîtres de forge sont encore loin d'avoir employé tous les moyens connus, et pratiqués avec succès, pour épargner le combustible dans les opérations qu'ils pratiquent pour fabriquer la fonte et le fer en barres.*

Or, quelle meilleure réponse peut-on faire aux plaintes qu'on entend articuler tous les jours sur les nouvelles usines qu'on autorise, malgré la rareté toujours croissante du combustible végétal?

Comment, d'après des changements prévus dans la situation des usines à fer, et qui doivent s'opérer pour le plus grand avantage des consommateurs, c'est-à-dire de la société, irait-on y mettre des entraves ou des obstacles insurmontables, au profit de quelques industriels qui se refuseraient à suivre les progrès de l'art métallurgique? Cela ne saurait être, et les demandes des immobiles ne doivent pas être écoutées.

Mais, pour être juste, l'administration ne doit pas se contenter de prouver la possibilité de diminuer la consommation du combustible dans la fabrication du fer, elle doit en mettre les moyens à la portée des maîtres de forge, elle doit joindre à ses indications, à ses recommandations, quelque chose de plus positif, lorsque cela est possible, comme dans le cas dont il s'agit, et c'est de donner des descriptions des procédés, et de publier et de répandre dans les usines la connaissance des

résultats économiques des plus importants, ainsi que nous allons le faire pour quelques-uns, dans ce mémoire, et l'annoncer pour d'autres.

La fabrication du fer en barres, du fer malléable et soudable (si l'on en excepte le traitement direct des minerais pour en obtenir ce produit, et tel qu'il est pratiqué sur des minerais exceptionnels, en quelque sorte, dans les forges des Pyrénées (1) et de la Corse, etc.), résulte toujours de deux classes d'opérations fort distinctes, donnant deux produits différents, et qui ont l'un et l'autre des propriétés et des usages différents, ce sont la fonte de fer et le fer malléable.

L'un et l'autre présentent respectivement de grandes différences dont il serait à désirer que les causes fussent mieux connues qu'elles ne le sont, parce qu'elles ont une grande influence sur leurs propriétés utiles, et par conséquent sur leurs usages, sur leurs prix, etc. Mais en prenant les choses comme elles sont, et en s'aidant de l'expérience, on peut espérer d'arriver à bien connaître ces produits, et à les obtenir avec les qualités qu'on y recherche.

Si l'on considère le traitement des minerais de fer pour en obtenir de la fonte, on reconnaît d'abord que le procédé, la manière d'opérer, les appareils ou fourneaux dont on se sert, sont les mêmes partout, aux dimensions près, qui encore ne varient

(1) Nous ne nous en occuperons pas dans ce mémoire, non pas que ces usines soient sans importance, mais parce que le procédé de fabrication qu'on y pratique, extrêmement délicat de sa nature, pourrait ne pas se prêter aux modifications que nous indiquerons : d'ailleurs M. l'ingénieur François travaille avec succès à y introduire divers perfectionnements, dont quelques-uns sont déjà employés.

pas beaucoup; il y a aussi quelques différences en raison de la puissance des machines soufflantes, le plus souvent en rapport avec l'élévation de ces hauts-fourneaux.

Mais ce qu'il faut toujours distinguer, c'est l'espèce du combustible, végétal ou minéral, qu'on y consomme, et l'état dans lequel on le charge dans le fourneau, carbonisé ou dans son état naturel.

Les dimensions des fourneaux, la quantité d'air comprimé qu'on y lance, la masse du produit journalier qu'on obtient de chacun d'eux, tout cela varie avec l'espèce de combustible employé; et généralement les fourneaux où l'on brûle du coke ou de la houille sont les plus grands, et donnent le plus grand produit mensuel et annuel.

On sait que le charbon de bois et le coke, représentant le combustible végétal et le combustible minéral, sont presque les seuls usités jusqu'ici. Les lignites, la tourbe, celle-ci en nature, n'ont été employées que pour essai, et leurs charbons, trop peu cohérents, ne peuvent guère brûler utilement dans les hauts-fourneaux à fer.

Quel que soit l'état dans lequel on charge ces deux espèces de combustible dans les hauts-fourneaux, il existe toujours une différence notable dans les propriétés du produit qu'on obtient de chacun d'eux, même en fondant les mêmes minerais, et quoique l'aspect et le grain dans la cassure de la fonte soient les mêmes; quand il s'agit de fontes destinées au moulage, celle qui est produite avec le coke, et par une allure d'ailleurs convenable et ménagée à cet effet, est plus propre à être employée en seconde fusion; et celle formée en présence du charbon de bois, plus convenable au moulage en première fusion.

S'il s'agit de fonte destinée à la fabrication du fer en barres (dite fonte d'affinage ou *fonte de forge*), les différences qui dépendent de la nature du combustible employé, sont encore plus importantes, quoique souvent moins apparentes : les fontes obtenues avec le combustible végétal, donnent, par un affinage simple et immédiat, du fer de bonne qualité, tandis que les fontes au coke, malgré la complication des procédés d'affinage, exécutés d'ailleurs avec le combustible minéral, ne produisent que des fers d'une qualité de beaucoup inférieure à celle des autres fontes; il n'y a que leur prix, toujours bien moindre, surtout en Angleterre, et les besoins immenses de l'industrie, qui les fasse accepter en présence des autres : aussi la fabrication des fers, et surtout des fontes de forge au charbon de bois, augmente-t-elle tous les jours en France, au lieu de se restreindre, en face des procédés anglais, comme on pourrait le croire.

C'est à l'influence qu'exerce sur la qualité (la composition) des fontes et des fers, au moment de leur formation, le contact du combustible minéral, soit houille, soit coke, toujours plus ou moins sulfureux, qu'on attribue l'infériorité des fers fabriqués suivant les procédés anglais.

On distingue donc, dans le commerce, comme pour les divers usages auxquels on les emploie, des fers en barres (et il en est de même pour les fontes de forge) fabriqués avec le charbon de bois, et des fers fabriqués avec la houille (à l'état de coke ou l'état naturel); mais il existe en France surtout (et aussi, je crois, dans la Silésie prussienne) beaucoup de fers obtenus de l'affinage par la méthode anglaise, de fontes fabriquées avec du charbon de

bois : ce produit est généralement supérieur à tous les fers pour la fabrication desquels on n'a employé que du combustible minéral, mais il est aussi plus cher.

Cette fabrication mixte, qui donne naissance à un troisième genre de fer en barres, est fort répandue en Champagne, en Bourgogne, en Nivernais, dans les grandes usines de Fourchambaut, de Châtillon-sur-Seine, d'Abainville, ainsi que dans une foule d'autres moins considérables, où l'on pratique la méthode d'affinage dite *de Champagne*, dont nous parlerons fort en détail par la suite.

Celle-ci doit s'étendre encore dans la plupart des anciennes forges, parce que c'est jusqu'ici la meilleure combinaison que l'on ait imaginée pour employer, et pour faire concourir à la fabrication d'un fer de bonne qualité, les deux espèces de combustibles, végétal et minéral : c'est un moyen, sinon d'épargner le premier, du moins de le réserver pour fabriquer de la fonte, soit pour le moulage en première fusion, soit pour l'affinage, afin de produire de bons fers, encore fort demandés pour une foule d'ouvrages délicats, comme pour toutes les manufactures d'armes, les tôles à fer-blanc, etc.

Nous allons passer en revue les divers procédés employés pour fabriquer de la fonte, soit pour le moulage, soit pour la forge, et avec toute espèce de combustible, et nous traiterons ensuite de l'affinage des fontes, et des diverses méthodes à l'aide desquelles on fabrique du fer en barres de différentes qualités.

Nous nous proposons d'indiquer pour chaque espèce de produits, ou pour chaque mode de fa-

brication et à mesure qu'ils se présenteront, les moyens de perfectionnement ou d'amélioration qui sont connus ou pratiqués dans les nombreuses usines que nous avons visitées, ou sur lesquelles nous avons pu nous procurer des renseignements suffisants; nous nous étendrons principalement sur la description de ceux qui ont pour but d'amener une diminution dans la quantité de combustible végétal ou minéral, consommé annuellement dans les usines à fer du royaume.

PREMIÈRE PARTIE.

DE LA FABRICATION DES DIVERSES ESPÈCES DE FONTES.

Deux espèces de combustibles sont employés à fondre les minerais de fer, et chacun d'eux peut être chargé dans les hauts-fourneaux en différents états; nous allons d'abord supposer qu'ils ont été carbonisés, c'est-à-dire que l'on se sert de charbon de bois ou de coke, nous réservant de traiter ensuite de l'emploi des combustibles dans leur état naturel pour fabriquer la fonte de fer.

Nous aurons à distinguer, sous le rapport des circonstances de leur fabrication, comme des consommations auxquelles elles donnent lieu, *les fontes de moulage* et *les fontes d'affinage*, dites *fontes de forge*.

Les propriétés distinctives, les qualités et les usages de la fonte, dépendent en général des circonstances dans lesquelles elle a été formée, c'est-à-dire d'abord de la conduite du fourneau, ensuite de la nature du combustible, puis de la composition des minerais employés.

On s'applique, dans les usines, à fabriquer telle ou telle espèce de fonte, suivant les avantages que l'on y trouve ou que l'on espère y trouver, et, eu égard aux matières premières dont on dispose, à leurs prix, à leurs qualités, etc.; enfin cela dépend aussi des débouchés offerts par la situation de l'établissement.

Quelques fourneaux travaillent tantôt en fonte de moulage, tantôt en fonte de forge, et font alors varier, en raison de cela, les éléments (minerais et combustible) de la fabrication, soit dans leur nature (1), soit dans leurs proportions; quelques-uns se bornent à produire constamment l'une de ces fontes.

Parmi les fontes de moulage, on distingue celles qui doivent et peuvent être employées en première et deuxième fusion; quant aux fontes de forge, on cherche à les fabriquer avec les matières premières les moins coûteuses, en leur conservant toutefois les qualités essentielles de cette sorte de produit; c'est-à-dire une certaine facilité à s'affiner, tout en produisant du fer en barres de la meilleure qualité possible, eu égard à l'espèce et à la quantité du combustible consommé, par tonne de métal.

A. Influence de la nature du combustible employé sur les propriétés et qualités des fontes obtenues.

D'après ce que nous avons dit, la principale distinction à faire entre les fontes, est fondée sur l'espèce de combustible qui a servi à les former; car les prix de revient, les usages, les prix de vente, etc., en dépendent presque toujours es-

---

(1) Je ne connais que les hauts-fourneaux de Hayange (Moselle) (dont les dimensions sont d'ailleurs très-considérables par rapport à celles des fourneaux ordinaires au charbon de bois), où l'on fonde indifféremment, mais successivement, et sans arrêter le feu, etc., au coke et au charbon.

sentiellement, lorsque les autres éléments sont les mêmes.

Nous devons donc traiter séparément des *fontes au charbon de bois* et des *fontes au coke.*

§ Ier. *Des fontes au charbon de bois.*

1° Des fontes de moulage.

Ces fontes, lorsqu'on les destine au moulage, sont le plus ordinairement employées en première fusion, c'est-à-dire qu'on prend le métal dans le fourneau pour le verser immédiatement dans les moules : et, pour cet usage, les fontes des fourneaux à charbon de bois sont de beaucoup à préférer à celles des fourneaux à coke, plus chargées de graphite, et détruisant les moules, à cause de leur température trop élevée; mais, d'un autre côté, les fontes destinées au moulage de seconde fusion, sont presque toutes fabriquées au coke; elles sont ordinairement préférées aux premières, précisément par ces mêmes motifs, qui rendent celles-ci peu propres à être refondues pour être ensuite moulées.

La conduite des fourneaux, où l'on veut obtenir constamment de la fonte de moulage en première fusion, est assez délicate et exige beaucoup de soins; le moulage demande aussi bien des précautions. Jusqu'à ces derniers temps on puisait la fonte dans le creuset (l'avant-creuset) du haut-fourneau; il en résultait divers inconvénients, dont les plus graves étaient l'interruption du fondage pendant plusieurs heures de la journée, le refroidissement du fourneau, et, par suite, un accroissement dans la quantité du combustible consommé, par tonne de fonte.

On a imaginé deux moyens de remédier à ces inconvénients, et qui permettent de prendre la

fonte sans arrêter la marche du fourneau; ils ne sont encore en usage que dans un petit nombre d'usines, et ne peuvent être employés avec succès qu'à l'aide de beaucoup de précautions minutieuses; peut-être même seulement dans des circonstances encore mal connues de fluidité du métal, de dispositions plus ou moins grandes à se figer, à déposer du graphite, etc.

Des creusets-puisards.

Le premier moyen, employé d'abord en Allemagne, est celui des *creusets-puisards*, qui ont été décrits dans ces annales (1); j'ajouterai seulement que les principales difficultés que l'on rencontre dans l'usage, consistent dans l'emplacement du creuset; trop rapproché de l'avant-creuset, il se détruit trop promptement; plus éloigné, la fonte s'y fige trop aisément, ce qui engorge le conduit de communication, et oblige à le reconstruire; cela doit dépendre de la température et de la liquidité habituelle de la fonte, ainsi que de la nature des matériaux employés à la construction du creuset; à Niederbronn, on préfère la brique crue, et l'on place maintenant le creuset-puisard à une distance de 14 pouces, après l'avoir mis au commencement, à 8 pouces seulement du grand creuset; la durée de ce puisard s'étend quelquefois à six ou huit mois; mais il est rare que par suite d'accident (refroidissement du fourneau et par conséquent de la fonte), on ne soit pas obligé de le reconstruire tous les deux mois.

Pour les creusets-puisards, comme pour l'autre moyen dont nous allons parler, les fontes presque

(1) Tome 8, p. 33. Il faut se souvenir que nous ne faisons que rappeler les procédés qui ont été convenablement décrits, nous réservant d'entrer dans de plus grands détails à l'égard de ceux qui sont peu connus ou très-importants.

toujours bien liquides, celles qui sont un peu phosphoreuses, et lorsque, d'après la nature des minerais employés, elles ne sont pas sujettes à déposer du graphite, sont celles pour lesquelles on peut se servir avec le plus d'avantage de ces nouveaux procédés.

L'autre moyen employé pour retirer la fonte du fourneau où elle vient d'être produite, consiste à pratiquer dans la paroi antérieure de l'avant-creuset, et ordinairement dans la partie où l'on place la dame, *un trou de coulée*, qui n'est débouché que pour faire répandre le métal dans les cuillers qui servent à le verser dans les moules, ainsi que cela se pratique pour les cubilots; il faut, pour obtenir ainsi de la fonte pure, faire écouler les laitiers de la superficie de l'avant-creuset sur l'un des côtés du fourneau, afin de laisser libre le devant, pour les ouvriers qui viennent prendre le métal.

Cette méthode, qui exige des dispositions particulières, est employée pour les hauts-fourneaux de Hayanges, où on la préfère à celle des creusets-puisards; il paraît qu'elle l'est également dans les forges du prince de Furchtenberg (pays de Bade), et M. de Steinbeiss, directeur général, doit, m'a-t-on dit, publier une description des dispositions qu'il a imaginées et adoptées à cet effet.

On a reconnu, par des essais faits tout récemment dans les forges du Bas-Rhin, qu'elle était préférable à celle des creusets-puisards qui donnent du déchet, en raison du métal impur ou trop refroidi qu'on est obligé d'enlever à la superficie de ceux-ci; il y a d'ailleurs tout à gagner à prendre la fonte au fond du grand creuset.

Il y a des usines où l'on a essayé sans succès cette manière de prendre la fonte des hauts-four-

neaux; mais cela ne prouve rien contre la méthode, qui d'ailleurs, comme nous l'avons dit, peut fort bien ne pas convenir pour toute espèce de fonte de moulage.

Ainsi, il est probable que, pour le fourneau de l'usine royale de Sayn (Prusse Rhénane) où, depuis qu'on y projette de l'air chauffé surtout, la fonte est tellement chargée de graphite, qu'on est obligé de la décarburer dans l'intérieur, en y introduisant du minerai de fer en poussière ou en morceaux (opération qu'on désigne en Allemagne sous le nom de *Futtern* (1)), avant de la verser dans des moules, on ne pourrait pas faire usage de creusets-puisards, et peut-être pas davantage du trou de coulée dont nous venons de parler.

C'est encore la fonte fabriquée avec le charbon de bois qui fournit, par son affinage également exécuté avec ce même combustible, la presque totalité des fers en barres produits et employés sur le continent de l'Europe; en Allemagne (à l'exception d'un fort petit nombre de forges, dans la Silésie prussienne), en France, en Autriche, en Suède, en Russie, les hauts-fourneaux et feux d'affinerie ne consomment presque que du combustible végétal. **2° Fonte de forge.**

La fonte de forge obtenue avec le charbon de bois peut être affinée avec un succès presque égal, avec ce même combustible, ou par la méthode anglaise, avec de la houille, ou même de la tourbe sèche. Elle présente cet avantage, sur la fonte au

---

(1) *Manuel*, etc., de M. Karsten, tome II, p. 288 de la traduction, 2ᵉ édition.

coke, qu'elle peut être soumise au puddlage immédiatement (même la plus grise), et sans avoir besoin d'être convertie en *fine métal* (ou préparée par le mazéage), tandis que la dernière ne peut donner de bon fer, si l'on ne pratique pas cette opération, et si l'on ne fait pas suivre le puddlage, au moins d'un corroyage, ce qui n'est pas toujours nécessaire pour l'autre.

C'est dans nos usines à fer de la Champagne, de la Bourgogne, etc., qu'on a le plus perfectionné la fabrication du fer en barres, en employant des fontes au charbon de bois, et en les affinant par la méthode anglaise comme à Abainville (Haute-Marne), à Bologne (Meuse), ou bien par le procédé mixte qu'on a imaginé, qui convient bien à toutes les anciennes forges, et qui, par ses avantages et l'extension qu'il ne peut manquer de prendre, doit exercer la plus heureuse influence sur la fabrication du fer, en France.

C'est à l'aide de ce procédé, qu'il sera possible (et tout à la fois avantageux) de transporter à l'usage des hauts-fourneaux tout, ou presque tout, le combustible végétal qui était, et qui est encore brûlé dans les feux d'affineries; nous y reviendrons incessamment.

D'ici à quelques années, on n'emploiera vraisemblablement plus de fer fabriqué entièrement au charbon de bois, que pour certains usages particuliers où il paraît ne pouvoir être remplacé par aucun autre, tels sont : la fabrication de quelques tôles à fer-blanc; la tréfilerie fine, et pour faire de l'acier de cémentation.

La fabrication de l'acier de forge ou acier d'Allemagne, se rattachera toujours à l'ancien procédé d'affinage, et exigera nécessairement du charbon

de bois, tant pour former la fonte que pour exécuter l'affinage qui le produit.

§ II. *De la fonte fabriquée avec le combustible minéral.*

Pour le moulage, et surtout pour celui qu'on exécute en deuxième fusion, la fonte dite noire, et fabriquée avec du coke, parait être préférée à toute autre; les fontes anglaises n° 1 sont surtout fort renommées pour cet usage; elles supportent plusieurs refontes sans changer sensiblement de nature, c'est-à-dire en restant toujours douces, faciles à travailler à la lime et au ciseau; elles possèdent, en outre, une grande tenacité, et communiquent cette propriété par leur mélange avec d'autres fontes de moindre qualité. 1° Fonte de moulage.

Les fontes au coke sont rarement employées en première fusion, et seulement pour des objets peu délicats; elles sont généralement trop chargées de graphite, malgré les soins que l'on prend pour obtenir une fonte moins noire que celle n° 1 des Anglais. Mais en France et dans quelques autres contrées, où l'on peut se procurer du coke, on fabrique assez souvent et pour mouler en première fusion, de la fonte avec un mélange de charbon de bois et de coke, c'est ainsi qu'on fait à Torteron (Cher), à Schaffouse...

On n'est pas encore bien fixé sur les causes de la supériorité des fontes anglaises pour le moulage; tout porte à croire qu'elle résulte de la qualité du combustible (coke) et des minerais qu'on emploie à leur fabrication; la composition à peu près invariable de ceux-ci permet de donner au fourneau, et de maintenir une allure très-régulière, et celle qui convient pour produire cette espèce de fonte.

2° Fonte de forge. Quant à la fonte de forge, truitée ou blanche, dont la production coûte toujours moins que celle de la précédente, parce qu'on fait porter au combustible une plus forte dose de minerai, en même temps que l'on fait descendre plus rapidement les charges (ce qui donne un produit journalier plus considérable), la qualité n'est pas partout la même, et toujours bien inférieure à celle des fontes d'affinage obtenues avec le charbon de bois : ici, l'influence du combustible est évidente, mais on croit que c'est aussi aux différences qui existent entre les diverses sortes de coke ou de houille, principalement sous le rapport du soufre contenu dans l'un et dans l'autre cas, que tiennent les différences, souvent considérables, qu'on observe dans les déchets qu'elles éprouvent dans leur affinage, ainsi que dans la nature du fer en barres qu'elles produisent. Il y a malheureusement en France, des exemples d'usines placées dans des circonstances très-défavorables, où la fonte qu'on y fabrique produit peu de fer et de médiocre qualité.

Assez souvent, lorsqu'on a voulu dépasser, pour la production journalière des hauts-fourneaux, des limites assez restreintes, et bien au-dessous de ce qu'on observe en Angleterre, on a encore augmenté les inconvénients dont nous venons de parler, et surtout en fondant des mélanges plus riches en fer. Toutefois l'emploi de *l'air chauffé* a permis quelquefois de faire des fusions plus rapides et plus riches, sans éprouver les mêmes désavantages.

Sous le rapport de la quantité du produit journalier, et par conséquent de ce qu'on obtient annuellement des hauts-fourneaux à fer, on remarque de grandes différences entre ceux du

pays de Galles ou de la Belgique (tous à l'air froid), et ceux de la France et de la Silésie prussienne; tandis que chaque haut-fourneau, chez nos voisins, produit par 24 heures 12, 15, ou même (comme dans quelques usines des environs de Charleroy) jusqu'à 16 ou 17 tonnes de fonte de forge, et avec des minerais qui rendent de 40, à 42 pour 100, les nôtres (et ce sont les plus favorisés) ne donnent que 6, 7 ou 8 tonnes (à l'air froid), et beaucoup d'autres de 5 à 6 tonnes, de la même espèce de fonte.

Lorsqu'à la Voulte (Ardèche), en fondant encore à l'air froid, on voulait au moyen de mélanges de minerais plus riches, dépasser 7 tonnes par jour, la fonte devenait presque intraitable à l'affinage. Il fallut y renoncer; maintenant, avec l'air chaud, on peut produire 9 tonnes au moins, sans tomber dans le même inconvénient.

Toutefois, dans ces derniers temps (1), dans la grande usine d'Alais, on a obtenu et l'on obtient encore, je crois, d'un fourneau à l'air froid, et sans employer aucun procédé particulier, un produit journalier qui se rapproche de ceux dont nous venons de parler : en chargeant du coke de très-bonne qualité et des minerais tenant de 50 à 52 pour 100 de fer et au-dessus; enfin, en se servant de buses (il y a deux tuyères) de 30 lignes (au lieu de 20 ou 23), on fabrique journellement de 12 à 14 tonnes ou mille kilogrammes de fonte de forge, tantôt blanche, tantot truitée : la consommation en coke n'a guère dépassé 1,600 kilogrammes pour 1,000 de fonte.

Anciennement (en 1833, 1834), on n'avait ja-

(1) Octobre 1836 et janvier 1837.

mais obtenu plus de 8 tonnes, et, à l'ordinaire, c'était de 4 à 6 tonnes.

Tels sont les renseignements que je dois à l'amitié de M. Thibaut, ingénieur en chef, résidant à Alais; cela prouve qu'avec un bon choix de combustible et de minerais (ceux d'Alais me paraissent analogues aux meilleurs de ceux que l'on emploie en Belgique), et en donnant du vent en quantité suffisante, au moyen de bonnes machines soufflantes (1), on peut obtenir en France, des résultats aussi avantageux qu'en Belgique.

Il serait fort à désirer que l'on trouvât le moyen d'obtenir de bonnes fontes, et en quantité notable, avec notre combustible minéral, le plus souvent fort médiocre et surtout fort sulfureux; jusqu'ici on n'y a guère réussi, et je ne vois que l'emploi de l'air chauffé qui ait amélioré la marche des hauts-fourneaux, comme on le voit à la Voulte, à Vienne, aux environs de Saint-Etienne et peut-être ailleurs; il paraît cependant qu'on a généralement abandonné l'usage de ce procédé en Angleterre, pour la fabrication de la fonte de forge seulement. L'exemple de ce qui a lieu dans le pays de Galles, en Belgique, et du résultat obtenu à Alais, que nous venons de citer, fait voir qu'il y a des circonstances où l'on peut très-bien s'en passer.

3° Emploi d'un mélange de charbon de bois et de coke.

Nous n'avons rien de particulier à dire sur le mélange du charbon de bois et du coke employé pour fondre les minerais de fer; lorsqu'on trouve de l'économie dans cette manière de procéder, ou

(1) En Belgique, chaque fourneau a sa machine soufflante mue par une machine à vapeur de 45 à 50 chevaux de force.

seulement un moyen d'épargner du combustible végétal, ou de fabriquer plus de fonte avec une même quantité de charbon de bois, on peut en faire usage, surtout pour obtenir des fontes que l'on peut alors mouler en première fusion.

Mais comme fonte de forge, elle donnera toujours du fer d'une qualité inférieure à celle du fer des fontes au charbon de bois, même en la traitant au four à puddler, après l'avoir soumise au mazéage : c'est ce qui a été reconnu à Fourchambaut, où la fonte est cependant formée avec un mélange composé des deux tiers de charbon de bois et d'un tiers de coke de Saint-Etienne.

B. Influence de la nature et des propriétés des minerais sur la qualité des fontes, et par suite des fers en barres qu'on en obtient.

Le choix des minerais de fer est toujours important, ainsi qu'on le sait depuis longtemps, non-seulement en raison de la nature et des proportions des gangues terreuses qui accompagnent l'oxide de fer, et ensuite de leur richesse, mais encore en raison des substances nuisibles qui s'y trouvent, et qui, malgré leur petite dose, altèrent notablement les propriétés utiles de la fonte, et surtout celles du fer en barres qui en provient; le soufre, le phosphore, le cuivre, sont les principales, et exercent cette fâcheuse influence sur les produits des hauts-fourneaux, lorsqu'ils se rencontrent dans les minerais ou bien même dans le combustible, comme il arrive pour le soufre contenu dans le coke ou la houille employés dans les charges.

Il y aurait aussi à considérer les effets produits dans les hauts-fourneaux par de certains minerais, dont les uns paraissent mieux convenir pour produire de la fonte grise, d'autres pour produire de la fonte blanche lamelleuse, d'autres de la fonte facile à affiner, tout en donnant du bon fer forgé (comme est la fonte caverneuse en Styrie); d'au-

tres enfin de la fonte à acier (*stahleisenstein*), comme les fers spathiques du Stahlberg, près du Rhin, etc., mais on manque d'observations précises et suffisamment étendues à cet égard.

Au reste, c'est principalement, pour ne pas dire uniquement, lorsqu'on fond au charbon de bois, que l'on choisit scrupuleusement les minerais qu'on doit employer pour fabriquer de la fonte devant donner par l'affinage, telle ou telle espèce de fer; on conçoit en effet que ce serait le plus souvent peine perdue, ou dépense inutile, que de traiter ou fondre des minerais très-purs (et ordinairement les plus chers) avec du coke plus ou moins sulfureux, et qui produira de la fonte également sulfureuse, dont le fer sera toujours plus ou moins difficile à souder et à forger, ou même cassant à chaud; il suffit d'éviter, quand on le peut, de se servir de minerais trop impurs, surtout de ceux qui contiennent beaucoup de phosphates, et qui donneraient des fontes sans tenacité, et du fer très-tendre.

Du choix des minerais pour les fourneaux au charbon de bois, et relatif aux diverses espèces de fers en barres que l'on veut obtenir.

C'est donc principalement pour les fourneaux au charbon de bois, qu'on apporte le plus de soin au choix des minerais, et qu'on fait le plus de sacrifices pour s'en procurer de bons; mais c'est plus particulièrement encore, lorsqu'il s'agit de fonte de forge destinée à donner du fer de qualité supérieure, qu'on doit rechercher les minerais que l'expérience a fait connaître comme devant être préférés pour cet objet.

Voilà pourquoi, il n'y a que certaines forges ou certains fourneaux, en raison des minerais dont ils peuvent être approvisionnés, qui fournissent de très-bons fers; la qualité du fer ne dépend guère que des minerais, le combustible végétal

étant toujours et partout sensiblement exempt de substances nuisibles au fer, et les méthodes d'affinage, d'une assez faible influence à cet égard (1); voilà ce qui a fait, et ce qui maintient la réputation des fers de Suède, de Styrie, de Franche-Comté, et de même pour les aciers de Styrie, de Bendorf, etc.

La nature des minerais c'est-à-dire, la présence ou l'absence de certaines substances nuisibles, ou la pureté plus ou moins grande des composés d'où l'on veut extraire le fer, et par suite celle des fontes qu'on en obtient, étend son influence jusque sur les propriétés les plus délicates du fer forgé, et qui sembleraient devoir dépendre plus particulièrement du mode d'affinage et des soins apportés à l'exécution de l'opération; telles sont la dureté, la tenacité, la compacité ou densité, la malléabilité et la ductilité, enfin la soudabilité du fer : sans doute, un mauvais travail à l'affinage peut faire disparaître ou diminuer plus ou moins ces propriétés utiles; il peut aussi les donner ou les augmenter jusqu'à un certain point, dans certains fers; mais il faut pour cela, et en premier lieu, que la nature de la fonte s'y prête, et l'influence primitive de la composition des minerais, si elle doit être nuisible, se fait toujours plus ou moins sentir : c'est avouer, ce qui n'est malheu-

(1) C'est ainsi que la nature des minerais employés, détermine celle des fontes qui seront produites, et fait distinguer celles-ci, d'après l'espèce ou la qualité du fer forgé qu'on en obtiendra, en fonte de *fer tendre*, de *fer metis*, de *fer fort*, dans les usines des départements des Ardennes, de la Moselle, de la Meuse, etc.

Dans la Champagne, on distingue les fers en raison des minerais dont ils proviennent, en *fer de roche, de demi-roche*, ou *fer fort*, *demi-fort*, etc.

reusement que trop vrai, que l'art métallurgique est encore fort impuissant pour détruire, ou seulement pour corriger, soit dans les hauts-fourneaux, soit à l'affinage, les mauvais effets que produisent certaines substances réunies à l'oxide de fer. Ainsi, lorsque *la Société d'encouragement pour l'industrie nationale* proposa pour l'un de ses prix annuels, de trouver un *procédé pour fabriquer de la fonte et du fer de bonne qualité, avec toute espèce de minerais*, cette question était prématurée, et quelque désirable qu'il fût d'en avoir une solution, même incomplète, il a fallu la retirer du concours.

C'est bien, et il importe de le faire remarquer, l'influence chimique de certaines substances qu'il faut combattre; c'est leur séparation complète ou à peu près qu'il faut opérer chimiquement; et comme leur affinité pour le fer est assez forte, leur proportion fort petite, et enfin qu'il faut agir sur de grandes masses, et toujours par des moyens fort économiques, le problème est difficile et sa solution encore fort imparfaite.

Nous venons de donner, il n'y a qu'un moment, des exemples de ce que pouvait produire journellement en fonte, et avec un combustible de bonne qualité, un haut-fourneau à coke; il y en a d'analogues parmi les fourneaux au charbon de bois et quelques-uns sortent de l'ordinaire, à cet égard; nos fourneaux donnent communément un produit journalier de 2 ½ à 3 tonnes de fonte : on en peut citer cependant qui étant pourvus de fortes machines soufflantes donnent de 5 à 6 tonnes; ceux de Hayange en produisent jusqu'à 8; mais il n'en est guère, je crois, que l'on puisse comparer à quelques-uns de ceux de la Toscane, où l'on fond des minerais de l'île d'Elbe. Voici ce que

j'ai appris relativement au fourneau de *Follonica*, situé dans les Maremmes, à la hauteur de l'île d'Elbe : sa hauteur est de 24 pieds, et ses autres dimensions proportionnées à celle-ci; il produit, par 24 heures, de 12 à 13,000 kilogrammes de fonte de forge; mais, lorsqu'on travaille en fonte de moulage, son produit est moindre. Ce fourneau réunit au plus haut point, à ce qu'il paraît, les trois conditions nécessaires pour donner les plus grands produits : les minerais qu'on y fond (ceux de l'île d'Elbe) sont très-facilement fusibles, et rendent, terme moyen, 58 pour 100 de métal; le charbon qu'on emploie est de première qualité; celui de chêne vert est, dit-on, presque comparable au coke pour la densité, et brûle avec bien plus de facilité que ce dernier; les charbons du chêne dit *cero* et de quelques autres essences, sont également excellents, et peu différents de l'autre.

Enfin, on lance dans ce fourneau, une très-grande masse d'air, et comparable à celle qui est introduite dans divers fourneaux à coke; c'est, dit-on, environ 2,000 pieds cubes par minute; quantité quintuple de celle que reçoivent la plupart des fourneaux au charbon de bois.

Il y a, en Toscane, d'autres fourneaux appartenant au grand-duc (entr'autres celui de Pistoïa), qui, placés dans des circonstances semblables à celles où se trouve le haut-fourneau de Follonica, donnent un produit journalier peu différent, comme de 10, 9 ou 8 tonnes (1).

---

(1) Le fourneau de Follonica, sur lequel M. Leblanc, alors élève à l'Ecole des mines, a rédigé une note, après avoir visité les lieux en 1834 (et d'où j'ai extrait ce qui

Des lits de fusion pour les h[ts]-fourneaux à fer.

Nous terminerons ces généralités relatives au traitement des minerais de fer, avec le charbon de bois, en indiquant une manière de préparer le chargement des hauts-fourneaux, qui est maintenant fort accréditée, dit-on, dans les usines du nord de l'Allemagne.

Je ne sais si elle serait aussi avantageuse pour les fourneaux à coke.

On forme, pour opérer ensuite le chargement des hauts-fourneaux, des *lits de fusion*, comme on le fait toujours lorsqu'il s'agit de fondre des minerais de cuivre, et surtout de plomb ou d'argent, etc., dans les fourneaux à manche, ou les demi-hauts-fourneaux, ordinairement bien moins

---

précède comme ce qui suit), est haut de 24 pieds, et présente, pour son intérieur, la forme des anciens flussofen de Styrie.

Le charbon est formé par la carbonisation en tas, des bois dénommés ci-dessus.

La machine soufflante fournit (d'après le calcul fait sur les dimensions et vitesse des pistons) 2.000 pieds cub. d'air par minute, sous une pression qu'on évalue à 1 liv. par pouce carré de surface.

On fait, terme moyen, 200 charges en 24 heures, et l'on coule de trois heures en trois heures, environ 1.500 kil. à chaque fois.

Une charge (pour fonte d'affinage, sans doute) se compose de :

	liv. de Toscane.		kilo.
Charbon. . .	190	=	64,60
Minerai . . .	385	=	130,90
Castine. . . .	20	=	6,80

C'est 144 kil. de matières fondues par 65 kil. de charbon, ou bien 1 kil. de charbon a fondu 2.2 de matières.

On consomme 1,1 partie de charbon pour 1 de fonte obtenue : or, nous avons des fourneaux, également à l'air froid, qui ne dépensent pas plus de combustible, par tonne de fonte produite, que ceux de la Toscane.

élevés que ceux que l'on emploie pour fabriquer la fonte.

Les minerais sont mélangés entre eux et avec la castine, dans les proportions reconnues pour être les plus convenables, en les étendant par couches superposées, sur le sol de la fonderie, et recoupant ensuite avec une pelle.

Le combustible est toujours chargé seul, et ordinairement sans alterner avec la matière à fondre.

C'est ainsi que l'on procède actuellement dans les forges du Bas-Rhin et ailleurs.

Toutefois, je n'ai pas vu pratiquer cette méthode à Wasseralfingen, et il en est de même dans l'usine royale de Sayn (Prusse Rhénane) : cela tient sans doute à ce que, dans ces usines, les minerais sont en roche, c'est-à-dire provenant de masses concassées, et non pas bocardées et lavées (ou seulement lavées, comme les minerais en grains détachés), c'est-à-dire en petites parties dont il est facile de former un mélange sensiblement uniforme; ce dernier cas est celui des minerais (et même de la castine) employés dans les forges de Niederbronn, Zinzwiller, etc.

On conçoit d'ailleurs, qu'il y aurait une dépense à faire et peut-être d'autres inconvénients à subir, si l'on voulait réduire en très-petits fragments, les minerais de fer spatique, de fer carbonaté terreux, les hématites, etc.; et bien que, un mélange intime des substances à fondre semble devoir être favorable aux réactions chimiques et aux combinaisons qui doivent s'accomplir, il faut cependant éviter de former des poussières, dont le traitement est toujours désavantageux, dans tous les fourneaux à courant d'air forcé.

Pour compléter ce que nous avons à dire sur

l'état actuel de la fabrication de la fonte, et faire pressentir l'avenir de cette industrie, il nous reste à traiter, avec une certaine étendue, de trois objets importants, savoir : de l'emploi, dans les fourneaux 1° de l'air chauffé; 2° des combustibles non carbonisés; 3° enfin, des moyens d'employer utilement la chaleur des flammes perdues des hauts-fourneaux.

§ III. *De l'emploi de l'air chauffé.*

De l'air chauffé employé dans les hauts-fourneaux.

L'air chauffé est appliqué à un grand nombre de fourneaux à fer, et on y trouve généralement des avantages plus ou moins considérables, tandis qu'on le repousse, ou même qu'on l'a abandonné dans quelques usines, en raison des divers inconvénients qu'il a fait naître. Si, comme il y a lieu de le croire, ces décisions opposées sont également fondées, il importe d'en rechercher les causes, afin de distinguer les cas où ce moyen, certainement influent, peut être employé avec avantage ou sans inconvénients.

Ce procédé, il faut en convenir, n'a pas réalisé toutes les espérances qu'on en avait conçues, même relativement à l'économie du combustible, qui est cependant encore le résultat le plus réellement avantageux qu'on en ait obtenu; on a reconnu cette économie jusque dans les usines où l'on a cru devoir en abandonner l'usage, par divers motifs.

Si nous voulons résumer les avantages et les inconvénients qu'on a reconnus généralement en employant l'air chauffé, dans les hauts-fourneaux à fer, nous indiquerons les résultats qui suivent.

Au nombre des avantages, on doit compter 1° une diminution plus ou moins considérable dans la quantité de combustible qui était consommée, avec l'air froid, pour fabriquer une tonne de fonte, dans le même fourneau, et avec les mêmes éléments.

Avantages résultant de l'emploi de l'air chauffé.

Cette économie devait être différente pour chaque fourneau, et dépendre de la consommation ancienne à laquelle on la comparait; et toujours d'autant plus grande que celle-ci était elle-même plus considérable; c'est en effet ce que l'on a observé: il y a des fourneaux pour qui l'application de l'air chauffé a produit une grande diminution dans la dépense du combustible, et d'autres où elle a été peu sensible.

Economie du combustible.

On reconnaît assez généralement maintenant que c'est à la concentration de la combustion, et par conséquent de la chaleur, dans la partie inférieure des fourneaux (dans l'ouvrage), qu'est due principalement l'économie dont il s'agit, ainsi que quelques autres effets avantageux, résultant de la projection d'un air préalablement échauffé; de sorte que c'est parce que le combustible introduit dans le fourneau y est brûlé, consommé ou employé d'une manière plus avantageuse qu'auparavant, qu'il y a économie, et en même temps une plus haute température, etc.; on conçoit donc qu'il puisse y avoir d'autres moyens d'obtenir le même résultat.

Quelques métallurgistes ont, en effet, prétendu que l'on pouvait toujours se procurer avec de l'air froid, les mêmes avantages qu'on obtient du vent chaud, au moyen de bonnes proportions données à l'intérieur des fourneaux, et d'une bonne conduite de la fusion; mais ils convien-

nent que l'air chauffé, appliqué à des fourneaux qui consomment beaucoup de combustible, est un moyen de les amener plus promptement et plus sûrement, que par des essais ou des tâtonnements toujours longs, pénibles et dispendieux, à cet état normal de consommation qui est assez bien connu pour les divers genres de fourneaux, eu égard à leurs dimensions, et à l'espèce de combustible qu'on y emploie.

Quand il serait vrai qu'à cela se bornât l'avantage du vent chaud, ce serait encore un procédé fort utile; surtout, lorsque, en se servant de la flamme du gueulard, on ne fait aucune dépense de combustible pour chauffer l'air. Mais nous pensons qu'on ne doit pas admettre l'assertion précédente comme étant d'une vérité absolue: il en faut seulement conclure que l'économie de combustible apportée par ce procédé, a été peu sensible, pour certains fourneaux, où l'on a cependant continué de l'employer, en raison des autres avantages qu'on y a trouvés(1), et qu'elle sera d'autant moindre que la consommation approchera davantage du *minimum*, dont nous venons de parler.

On avait cru, dans l'origine, que le vent chaud favorisait l'emploi dans les fourneaux, des combustibles dans leur état naturel, c'est-à-dire non carbonisés : mais bien des faits ont paru infirmer cette conclusion; cependant il n'est pas démontré

(1) Par exemple, pour former de la fonte de moulage, comme aux fourneaux de Torteron, dépendants de Fourchambaut, et où cependant le chauffage de l'air est dispendieux, puisqu'il se fait au moyen de deux foyers spéciaux brûlant de la houille.

que cela ne puisse avoir lieu, dans certaines circonstances encore peu connues.

2° D'autres effets, et nous nous bornons encore en ce moment, à énoncer ceux que l'on doit considérer comme avantageux, sont également produits par l'air chauffé, ou si l'on veut, par une meilleure distribution de la chaleur dans l'intérieur des hauts-fourneaux à fer; ainsi, on observe généralement que la fusion des matières est plus facile, si ce n'est plus prompte (car on a observé quelquefois une descente des charges plus lente qu'à l'air froid); on a des laitiers plus fluides, enfin une *allure plus chaude* et toutes les conséquences qui s'ensuivent; de-là une production plus facile, plus ordinaire et plus soutenue de la fonte grise, ou fonte de moulage, à moins qu'on n'y mette obstacle; elle peut même devenir trop graphiteuse, comme à Sayn; de-là encore la possibilité d'employer des minerais ou des mélanges plus réfractaires qu'avec l'air froid; on a pu, dans bien des usines, diminuer la dose de castine, dans les charges, pour produire la même espèce de fonte, lorsqu'elle ne doit servir qu'à faciliter la fusion; et, dans d'autres cas, lorsqu'il peut être utile de mettre un excès de chaux pour absorber du soufre ou du phosphore, on peut le faire, tout en conservant aux laitiers, une liquidité suffisante (1). L'emploi

(1) Si l'air chauffé employé dans les hauts-fourneaux permettait d'introduire dans les charges, et sans nuire à la qualité de la fonte (et sans trop détériorer l'ouvrage), une plus forte proportion de scories de forges, sornes et autres silicates riches, qu'on ne peut le faire avec l'air froid, ce serait encore un avantage notable, et qui de-

de l'air chauffé a rendu la conduite des fourneaux (du moins, du plus grand nombre) plus sûre, plus régulière et moins pénible; on a pu fermer, ou à demeure, ou en le débouchant seulement de temps en temps, le vide de la tuyère qui laisse voir le feu, et cela n'est pas sans avantage; on n'a presque jamais besoin d'y travailler, dans certains fourneaux; enfin, on a trouvé dans l'application momentanée du vent chaud, aux fourneaux pour lesquels on n'a pas cru devoir en continuer l'usage à l'ordinaire, un moyen très-efficace pour dissiper les embarras où les engorgements commencés, qui s'y forment quelquefois par suite de refroidissement.

Quant aux inconvénients de l'emploi de l'air chauffé pour la fabrication de la fonte, ils résultent principalement, pour la fonte de moulage, d'une diminution dans la tenacité; soit que cela provienne de ce qu'elle est plus poreuse, moins dense, ou plus chargée de graphite que celle que l'on formerait à l'air froid, avec les mêmes matériaux; soit que cela tienne à ce que la fonte a été formée à une trop haute température (1). On a aussi trouvé que les fontes de forge à l'air chaud, étaient souvent un peu plus difficiles à affiner que

---

vrait attirer l'attention des maîtres de forge; ce résultat, dont on connaît déjà quelques exemples, est d'accord avec les effets bien constatés du vent chaud. A la Voulte (Ardèche), on a pu fondre avec l'air chaud, des minerais plus riches qu'à l'air froid, et obtenir néanmoins de bonne fonte de forge, etc.; à Sayn, fondre des minerais très-réfractaires, et qu'on n'employait auparavant qu'en fort petite proportion.

(1) Il est arrivé assez souvent que la tenacité a reparu après une refonte; mais cela est inapplicable aux fontes que l'on doit mouler en première fusion.

les autres ; qu'elles éprouvaient quelquefois plus de déchet dans leur conversion en fer forgé, ce qu'on attribuait à une plus forte proportion de silicium réduit, et combiné dans cette fonte. On a même dit que les fers provenant de fontes fabriquées à l'air chaud, avaient moins de tenacité que les autres : pour ce qui est des fers, je n'ai rien appris de semblable, et s'il y a au commencement, en effet quelques difficultés de plus à affiner ces fontes avec le charbon de bois, on n'y fait plus guère attention maintenant; mais j'ai vu, au contraire, dans quelques usines (ainsi que je le dirai tout à l'heure), que la qualité des fontes et des fers en barres, très-médiocre à l'air froid, avait été notablement améliorée par le vent chaud appliqué aux hauts-fourneaux et aux affineries, les uns et les autres au charbon de bois.

Pour exposer convenablement quelques détails sur les effets de l'air chauffé, employé dans les hauts-fourneaux, nous distinguerons parmi ces derniers, ceux qui consomment du combustible végétal de ceux où l'on brûle du combustible minéral.

1° Dans les fourneaux à charbon de bois.

Le procédé du vent chaud s'est étendu généralement dans toutes les forges de l'Allemagne, qui travaillent au charbon de bois ; on voit aussi en France un bon nombre de hauts-fourneaux qui reçoivent de l'air chauffé; peu en Belgique.

Les appareils de chauffage pour l'air, sont assez variés, mais c'est toujours la flamme perdue du gueulard qui leur fournit la chaleur qui leur est nécessaire; elle suffit pour donner au vent une chaleur de 2 ou 300° c., et c'est tout ce qu'il en faut pour en obtenir de bons effets; quelquefois même, on a été dans le cas de réduire la

température de l'air, de manière à ne pas dépasser 200° c., et cela afin que la fonte produite fût plus compacte et plus tenace.

Les variations que l'on observe dans les effets produits par le vent chaud, dans différents fourneaux au charbon de bois, sont plus nombreuses et plus difficiles à expliquer que celles qui ont lieu dans les fourneaux à coke; peut-être ce procédé convient-il moins pour de certains minerais, pour de certaines formes intérieures de fourneau, usitées dans une contrée? Ce qu'il y a de sûr, c'est que, tandis qu'on s'en trouve très-bien, au Hartz, en Saxe, dans le Wurtemberg, le grand duché de Bade, etc., on l'a abandonné dans diverses forges, en France, comme en Champagne et ailleurs.

Bons effets et économie de combustible produits par le vent chaud.

En Allemagne, on assure partout que l'économie de charbon qu'a procurée l'emploi de l'air chauffé, n'est pas moindre de 30 pour 100 pour les hauts-fourneaux, et on en fait usage, soit qu'on travaille en fonte de forge, ou bien en fonte de moulage : dans l'usine royale de Sayn on a constaté, par des expériences très-soignées (1), que l'économie du charbon était de 16 pour 100, que l'on pouvait employer des mélanges bien plus réfractaires qu'avec l'air froid, et même que les minerais (fer spathique, hématites, etc.) rendaient plus de métal qu'auparavant; enfin la fonte, bonne pour le moulage, lorsqu'on avait diminué l'excès de graphite qu'elle contient souvent, était

(1) *Voyez*, dans les les archives de M. Karsten pour 1835, tome V, pag. 429, un mémoire fort étendu et avec plusieurs planches, de M. Schaeffer, sur l'emploi du vent chaud, dans le haut-fourneau et le cubilot de Sayn. Ce cubilot présente une disposition particulière pour y puiser la fonte.

affinée pour fer avec la même facilité qu'auparavant.

En Saxe, on a employé avec succès l'air chauffé dans les fourneaux où l'on traite les minerais de cuivre, ainsi que pour les fontes crues exécutées sur les minerais d'argent; mais ce procédé n'a pas réussi pour les fontes au plomb. Il a fallu d'ailleurs établir des foyers particuliers servant à chauffer des caisses en fonte où circule l'air avant d'arriver à la tuyère; les vapeurs sulfureuses et métalliques, qui se trouvent en forte proportion dans les flammes qui sortent du gueulard de ces fourneaux, ne permettaient pas de se servir de celles-ci.

Inconvénients attribués au vent chaud.

Dans les fourneaux de la Champagne où l'on a appliqué le vent chaud, il en est résulté souvent des chutes de mine extrêmement fréquentes, qui dérangeaient la marche du fourneau, de manière qu'il ne donnait que de mauvaise fonte, et que l'on perdait les avantages économiques qu'on aurait pu attendre de ce nouveau procédé. On a attribué ces chutes à la fusibilité des minerais, en raison de quoi ils pouvaient s'agglutiner au-dessus ou à la partie supérieure de l'ouvrage, s'y arrêter en formant voûte, et ensuite tomber en masse dans le creuset par la destruction de celle-ci; quelques métallurgistes pensent que cet accident dépend de la forme intérieure des fourneaux, et est plus fréquent dans ceux qui sont très-élevés, comme à Hayange; mais ce n'est pas le cas de ceux de la Champagne, qui n'ont généralement que 23 ou 24 pieds d'élévation.

Il en est qui croient que les fourneaux à l'air chaud doivent être moins hauts que les autres, et si cela était vérifié, on pourrait le regarder comme

une conséquence de la concentration de la combustion et de la chaleur, dans le bas de ces fourneaux.

Si nous considérons maintenant la qualité des fontes, et particulièrement de celles destinées au moulage en première fusion, nous observons d'assez grandes différences à cet égard, et dans les effets produits par l'air chauffé : dans certaines forges (à Torteron, à Loullans), et d'après des essais faits sur des projectiles creux, la tenacité du métal n'aurait point été diminuée; mais il n'en est pas de même ailleurs. Dans les usines du Bas-Rhin, on a été forcé de supprimer le vent chaud dans les fourneaux qui travaillent en fonte de moulage (1), et parce que celle-ci manquait de tenacité, même après avoir abaissé jusqu'à 100° R., la température de l'air introduit dans la tuyère; cependant il y avait une économie sensible sur le combustible consommé, et d'environ $\frac{1}{7}$ ou 16 pour 100; c'est au fourneau de Jaegerthal que l'air chauffé n'est plus employé que pour remédier aux embarras qui peuvent survenir pendant le travail.

Amélioration des fontes et des fers tendres, par l'emploi du vent chaud.

Mais dans ces mêmes forges, pour le fourneau de Zinzwiller, qui travaille en fonte d'affinage, et fond des minerais calcaires et phosphoreux, le vent chaud produit les meilleurs effets : la fonte qu'on obtenait auparavant avec l'air froid n'avait aucune tenacité, et le fer qu'elle donnait était extrêmement cassant à froid : depuis qu'on se sert du nouveau procédé, la fonte et surtout le fer (qui

(1) Dans quatre fourneaux employant les mêmes minerais, ceux de Niederbronn, Jaegerthal et de Mutterhausen.

est fabriqué par un affinage exécuté aussi avec de l'air chauffé) sont d'une qualité de beaucoup supérieure à celles qu'ils avaient précédemment; de plus, l'économie sur le charbon consommé au haut-fourneau est dans le rapport de 4 : 3 environ, c'est-à-dire d'un quart de ce qu'on brûlait à l'air froid.

On a déduit de ces observations, et principalement des effets si différents produits par le vent chaud, dans les fourneaux dont nous venons de parler (au nombre de cinq), ou plutôt sur les résultats qu'on en obtient en traitant diverses espèces de minerais, une conséquence qui serait fort importante, si l'on pouvait la généraliser, ce qui demanderait des observations concordantes plus multipliées.

C'est que le vent chaud convient pour fondre les minerais calcaires, et qu'alors il ne diminue pas la tenacité des fontes, pouvant même en améliorer la qualité, tandis qu'il ne convient pas pour les minerais siliceux (1). Je crois que les minerais que l'on fond habituellement dans les fourneaux de la Champagne, où l'on repousse l'air chaud, sont en effet de cette dernière espèce.

La possibilité de tenir bouché constamment, ou presque toujours, le vide des tuyères lorsqu'on emploie l'air chauffé dans les hauts-fourneaux à fer, ne serait pas sans avantage, si, comme me l'a assuré M. Faber-Dufaur, directeur à Wasseral-

(1) On a dit que, lorsque la réduction du silicium s'opère en certaine quantité, la carburation du fer, et surtout la formation de la fonte grise, ne se fait pas d'une manière convenable. Peut-être y a-t-il quelque chose de semblable, dans le cas dont il s'agit?

fingen, il en résulte une économie sensible sur la force motrice employée à projeter de l'air dans ces fourneaux. Toutefois, on m'a dit ailleurs que cette fermeture avait le grand inconvénient d'occasionner une prompte destruction de l'ouvrage et du creuset. Je ne sais pas ce qui a pu être observé à cet égard, sur les fourneaux à coke, mais il paraît que le plus souvent on tient fermé, pendant le travail, l'ouverture dont il s'agit.

2° Dans les fourneaux à coke.

L'emploi du vent chaud, dans les fourneaux où l'on consomme du combustible minéral, a produit de fort bons effets dans presque tous ceux où on l'a appliqué en France; je n'ai rien à ajouter à ce que j'ai eu occasion de dire dans le *Rapport*, etc. (1), que j'ai fait après mon voyage de 1834; ayant visité l'année dernière (1836) les usines de la Belgique, je n'ai vu que des essais à peine commencés pour introduire ce nouveau procédé; mais j'ai appris qu'il n'y avait pas pris faveur; au reste, lorsqu'il s'agit de hauts-fourneaux travaillant en fonte de forge, et ne consommant guère plus d'une tonne un quart de coke, pour une tonne de fonte produite, comme chez M. Orban, près de Liége, on ne peut pas en espérer une économie notable de combustible : l'avantage pourrait être plus grand, dans la fabrication de la fonte de moulage.

On assure que, maintenant dans les usines de la Grande-Bretagne, on a abandonné généralement l'emploi de l'air chauffé pour les hauts-fourneaux qui travaillent en fonte de forge : cela n'est pas surprenant, et s'explique par ce que nous avons dit précédemment, à savoir que les effets

(1) *Annales des mines*, 3e série, tome VII, p. 51.

de cette manière de fondre les minerais, sont principalement de former de la fonte très-carburée, ou même graphiteuse; peut-être aussi de favoriser la formation et la combinaison du silicium; toutes circonstances contraires ou même opposées à ce qu'on doit se proposer de faire en fabriquant de la fonte pour l'affinage, et qui est évidemment d'obtenir celle-ci disposée à s'affiner aisément, promptement et complétement.

Il faut remarquer, en outre, que l'économie du combustible est toujours bien moindre pour la fonte de forge que pour l'autre. On l'a quelquefois portée à 30 ou du moins à 25 pour 100; mais des évaluations plus exactes ont souvent montré qu'il ne fallait compter que sur un sixième, ou environ 16 pour 100, en y comprenant la houille consommée pour chauffer l'air, et lorsqu'il s'agit de fontes de forge.

L'exemple de ce qui a lieu dans le pays de Galles, en Belgique, et tout récemment à Alais, prouve qu'avec l'air froid, on peut, ainsi que nous l'avons dit, produire, dans des circonstances favorables, beaucoup de fonte de forge, et avec une grande économie de combustible, du moins lorsque celui-ci est du genre minéral.

§ IV. *De l'emploi des combustibles non-carbonisés, dans les hauts-fourneaux à fer.*

On ne saurait trop souvent reporter l'attention des métallurgistes sur l'énorme perte de matières propres à produire de la chaleur, qui a lieu par le fait de la conversion d'un combustible en charbon. Pour le bois, la quantité de chaleur perdue par sa carbonisation, celle que l'on aurait pu en obtenir, en sus de celle que

produira le charbon qu'on en retire, si on l'eût brûlé dans son état naturel et supposé bien sec, est, d'après les expériences de Rumfort, des deux tiers; d'autres disent des trois quarts du tout; il y a des savants qui n'admettent qu'une perte des deux cinquièmes; c'est donc environ la moitié de la quantité de chaleur, ou la moitié du combustible que l'on brûle, qui est consommée inutilement, supposé que l'on pût employer à produire le même effet, ou le même résultat métallurgique, les combustibles dans leur état naturel; c'est-à-dire y faire concourir la chaleur produite par les parties volatiles et par les parties fixes, dont ils sont tous composés. Nous verrons que cela est toujours fort difficile, pour de certaines opérations.

Si l'on ajoute les pertes faites sur le carbone, dans l'opération de la carbonisation, telle qu'on la pratique en grand, et qui réduit le produit en charbon de bonne qualité, à 15 ou 17 pour 100, en poids; puis le déchet qui a lieu sur ce même produit, soit dans les transports, soit dans les magasins, on verra que la perte réelle éprouvée sur la matière combustible ou la chaleur perdue, s'élève bien ordinairement aux deux tiers ou aux trois quarts du tout.

Pour la houille, et surtout pour l'espèce qui est la plus propre à être convertie en coke, la perte est beaucoup moindre; on l'évalue au cinquième seulement, dans les cas les plus favorables; mais, pour les houilles qui produisent un coke plus ou moins friable, et que l'on est cependant fréquemment obligé de soumettre à la carbonisation, il y a des déchets considérables sur le coke fabriqué, et qui se réduit en poussière par les transports ou dans les magasins : c'est

ainsi que des houilles qui donnent en petit, dans les essais, 40 ou 50 pour 100 de coke, ne rendent, en définitive, que 30 ou 35, lorsqu'on évalue leur produit d'après les livres d'entrée et de sortie des gardes-magasins.

M. Nailly parle d'une houille dont on faisait du coke au Creusot, et qui ne rendait que 30 ou 40 hectolitres de coke p. 100, ou entre 12 et 16 p. 100, en poids (1).

Toutefois, il y a, dans le pays de Galles, certaines espèces de houille, qui produisent plus de 70 pour 100 de coke, et en Belgique, 65 ou 68.

Mais on doit remarquer, relativement au bois et au charbon de bois, des différences qu'il importe de rappeler, parce qu'il en faut tenir compte pour apprécier les avantages divers que l'on peut trouver à remplacer, dans les fourneaux à cuve, le charbon par le bois, ou le coke par la houille crue.

C'est que le coke et la houille possèdent à peu près le même pouvoir calorifique, à poids égaux; tandis que pour le bois et son charbon, c'est le rapport de 2 : 1, au moins.

Pris à volumes égaux, la différence dans les pouvoirs calorifiques entre la houille et le coke, est moindre, en général (et surtout pour les houilles peu bitumineuses), qu'entre le bois et le charbon.

Il suit de là, que, si, en carbonisant le bois, on perd beaucoup plus de matières inflammables que sur la houille que l'on convertit en coke, on se procure, du moins, dans le charbon de bois, un combustible bien plus énergique, c'est-à-dire pouvant produire, à égalité de poids, une cha-

(1) *Annales des mines*, 3[e] série, tome X. page 58.

leur double de celle du bois; et, sous un même volume (ou espace rempli), le charbon produisant plus de chaleur que le bois, celle-ci demeure concentrée dans le foyer (ce qui est bien souvent un point très-important), et y produit une très-haute température.

Après avoir carbonisé la houille, on n'a pas détruit autant de substance combustible qu'en opérant sur le bois; mais aussi on n'a pas gagné sensiblement, sous le rapport de la puissance calorifique, d'après ce que nous venons de dire; et, en les prenant au volume, la quantité de chaleur produite par le coke obtenu, ne sera guère que la moitié, tout au plus, de celle de la houille; mais, de même que pour le charbon, le coke, bien fabriqué et bien sec, brûle en développant toute sa chaleur, dans le foyer où il a été accumulé, sans qu'aucune substance vaporisable vienne la diminuer ; de sorte que, en raison de sa densité plus grande que celle du charbon (au moins double), il peut produire une plus haute température que lui, et, lorsqu'il est bien pur, c'est un combustible extrêmement précieux, pour l'usage des fourneaux à courant d'air forcé.

On conçoit, d'après cela, pourquoi l'on doit trouver, dans la plupart des cas, plus de facilité, et même d'avantage, à substituer la houille crue au coke, dans les hauts-fourneaux, que le bois au charbon de bois.

On peut employer les combustibles dans 3 états.

Lorsqu'il s'agit de fourneaux à cuve, de foyers d'affinerie ou de chaufferie, et en général de fourneaux à courant d'air forcé, on conçoit trois états dans lesquels on peut employer les combustibles, pour les chauffer convenablement. :

1° A l'état carbonisé ou de charbon : c'est ainsi

qu'on les emploie généralement, et c'est le moyen le plus sûr, si ce n'est pas le plus économique, pour produire une très-haute température, dans un foyer;

2° Charger dans les fourneaux (et cela suppose toujours une cuve d'une certaine élévation), le combustible à son état naturel, avec ou sans dessiccation préalable, mais plus ou moins divisé mécaniquement;

3° Enfin, la carbonisation préalable peut n'être que partielle, ou incomplète, laissant à dessein, et particulièrement dans le bois, une partie des composants volatils; c'est du bois *torréfié*, ou *à demi-carbonisé*, dont les propriétés et la valeur, comme combustible, diffèrent de celles du bois et du charbon parfait.

Nous n'avons rien à dire sur l'emploi du charbon ordinaire dont les effets, dans les divers fourneaux et foyers, sont suffisamment connus; ils serviront de terme de comparaison pour apprécier les autres.

Nous n'aurons donc qu'à nous occuper des deux autres états du bois et de la houille, sous le rapport de leur emploi dans les hauts-fourneaux à fer.

Lorsqu'il s'agit d'une opération aussi compliquée et aussi délicate que l'est la formation de la fonte (et surtout des diverses espèces de fonte) dans les hauts-fourneaux où l'on traite les minerais de fer, dont la composition et l'état physique ne sont pas les mêmes partout, et dont les facilités de fusion, de réduction, de combinaison, entre leurs éléments, autres que l'oxide de fer, sont fort différentes, il faut interroger l'expérience, et avoir recours à des essais, dont on fera

varier les circonstances, si l'on veut connaître les effets que produiront les combustibles, pris dans les divers états dont nous venons de parler, et chargés dans ces fourneaux.

Des causes des anomalies observées dans l'emploi des combustibles à leur état naturel.

Nous rapporterons tous les résultats qui sont venus à notre connaissance, bien qu'ils ne paraissent pas toujours concordants; car c'est précisément ce défaut d'uniformité dans les phénomènes, dont il importe de chercher les causes, afin d'expliquer ce qu'on a observé, et de prévoir ce qui pourra arriver, dans des circonstances données.

Je ne répéterai pas ce que j'ai dit ailleurs (1) à ce sujet, il suffit de rappeler ce qu'on peut appeler un axiome, en pareille matière, savoir : « qu'un combustible, à quelqu'état qu'il ait été chargé, dans un fourneau à cuve, et surtout dans un haut-fourneau à fer, où il a besoin d'une température fort élevée (2), ne peut produire un bon travail que lorsque, *à son arrivée dans le foyer ou ouvrage* (SCHMELZRAUM), *il se trouve complétement carbonisé.* » Je regarde cette assertion comme un principe, parce qu'elle résulte nécessairement de la nature des choses, et qu'on ne pourrait guère concevoir qu'il en fût autrement : en effet, la haute température qui a lieu au-dessus du point de fusion, ne peut évidemment

---

(1) *Rapport*, etc., Ann des mines, 3e série, tom. VII, pag. 31; et *Nouveaux procédés pour fabriquer la fonte et le fer*, etc., pag. 95 à 105.

(2) Ce n'est pas le cas des fourneaux écossais employés pour réduire la litharge, etc.; ni de quelques autres bas fourneaux où la chaleur peut rester faible, sans inconvénient.

laisser de parties vaporisables, au combustible parvenu en cet endroit du fourneau (1).

Or, on conçoit d'ailleurs que les dispositions de l'intérieur des fourneaux, la manière dont la chaleur s'y produit et s'y distribue, et d'autres circonstances encore, puissent ne pas être également propres à favoriser ce changement du combustible, cette carbonisation à l'intérieur, et à l'opérer précisément dans l'endroit où le dégagement des vapeurs ne peut diminuer la température de l'ouvrage; c'est là, ce me semble, la cause la plus ordinaire des anomalies que l'on a observées; viennent ensuite les différences que présentent les combustibles, sous le rapport de leur conversion en charbon, plus ou moins facile, plus ou moins prompte ou complète, à de certaines températures : pour le bois, le degré d'humidité; pour les houilles, la composition ou la nature plus ou moins bitumineuse, et une autre propriété dont nous parlerons bientôt. Il n'y a pas lieu de s'étonner, d'après cela, des effets différents, produits dans les fourneaux, par les divers combustibles qu'on a essayés d'y employer à leur état naturel; on sait quelle est l'influence des propriétés physiques et chimiques du combustible sur la quantité des matières qui seront fondues, la rapidité de la fusion et la nature du produit; tous les fondeurs s'accordent pour reconnaître que la qualité des charbons et des cokes

(1) Si l'on en voulait une preuve directe, à l'égard de la houille, chargée crue dans un haut-fourneau, et lorsqu'elle y produit un bon effet, on la trouverait dans ce fait observé à Kœnigshütte en Silésie, « que les cokes sortis de l'intérieur du fourneau, en nettoyant le creuset, avaient le même aspect que ceux que l'on retirait ordinairement de l'avant-creuset. » Voyez *Nouveaux procédés*, etc.

employés est de la plus grande importance dans la fusion des minerais, et que la consommation qu'on en fait (évaluée au poids), est en raison de la qualité qu'on leur a reconnue pour cet usage : il est tout simple que ces mêmes influences se fassent sentir avec les combustibles non carbonisés.

Les avantages, que peuvent présenter les combustibles employés à leur état naturel, dans les usines, sont de diverses espèces, et bien souvent dépendent de la situation de celles-ci : les prix de ces combustibles, les frais de leurs transports, etc., sont à considérer, lorsque d'ailleurs on a constaté de bons effets pour les uns ou les autres.

Il y a donc deux sortes de considérations à examiner : la première et la plus importante, en général, est celle du résultat métallurgique; s'il n'est pas bon, il n'y a plus rien à faire; s'il est satisfaisant, et selon le plus ou le moins d'avantage qu'on y verra, on peut faire des dépenses plus ou moins fortes, pour se procurer le combustible qui a le mieux réussi, pour établir les appareils les plus convenables, etc., etc.

Nous n'avons, en ce moment, à nous occuper que des considérations métallurgiques qui dominent toutes les autres, en faisant remarquer toutefois qu'on ne peut espérer de voir employer les procédés reconnus comme ne donnant lieu qu'à une consommation *minimum* de bois ou de houille (ce qui est le but important pour le public), que quand l'intérêt particulier sera satisfait, c'est-à-dire quand il y aura un bénéfice réel, une diminution sensible dans le prix de revient de la tonne de fonte ou de fer fabriqués; il faut donc trouver et propager les moyens d'obtenir ce résultat dans le plus grand nombre des localités,

si l'on veut arriver à obtenir une réduction notable sur la quantité de bois consommée annuellement, dans les usines à fer du royaume, ou bien faire porter toute la consommation sur la fabrication de la fonte.

De l'emploi du combustible végétal, dans divers états.

La rareté toujours croissante du bois a fait songer depuis longtemps à le remplacer par le combustible minéral; et, en ce qui concerne la fabrication du fer, si on y a réussi complétement par les procédés dus aux Anglais, ce n'est point cependant sans qu'il en soit résulté des inconvénients relativement à la qualité de ce métal; mais on parvient, à l'aide d'une substitution partielle et convenablement entendue, c'est-à-dire en employant l'un des combustibles à de certaines opérations, et l'autre à d'autres, à obtenir un produit d'une qualité comparable à celle des fers ordinaires, fabriqués entièrement avec du charbon de bois; cela est, ou peut être fort avantageux dans certains pays (et c'est le cas où se trouvent les usines du royaume), où il faut soutenir une concurrence permanente avec les fers de cette dernière sorte. Il y a donc lieu d'examiner les diverses parties de la fabrication, sous le rapport de l'espèce de combustible qui peut y être employée avec le moins d'inconvénient, et le plus d'économie. Du combustible végétal.

Nous nous occuperons de ce dernier objet avec d'autant plus de soin qu'on n'en est plus aux essais, et que l'on pratique maintenant un procédé *mixte* (sous le rapport des combustibles végétal et minéral) qui est fort avantageux, et

doit nécessairement être adopté dans la plupart de nos usines du centre de la France, ainsi que nous l'avons déjà annoncé.

Nous commencerons par les procédés les plus simples, et en suivant les diverses transformations que subit le fer contenu dans les minerais, et qui passe à l'état de fonte, puis à celui de fer malléable.

Le bois, lorsqu'il n'est pas converti en charbon, peut être et a été réellement employé, du moins comme essai, dans trois états différents : 1° dans son état naturel, et plus ou moins sec, suivant le temps écoulé depuis qu'il a été abattu ; 2° desséché artificiellement ; 3° enfin amené à un état de carbonisation plus ou moins avancé, au moyen d'une sorte de distillation ou de torréfaction. Souvent on a mélangé le combustible, ainsi préparé, avec du charbon de bois, et en diverses proportions ; dans tous les cas, le bois doit être divisé, scié ou coupé à une petite longueur, et bien souvent aussi refendu en bûchettes.

1° De l'emploi du bois à son état naturel, dans les hauts-fourneaux.

Lorsqu'on veut employer le bois en nature dans les hauts-fourneaux à fer, seul ou mélangé avec le charbon, faut-il qu'il soit sec, et même desséché artificiellement, ainsi que le recommande M. Lampadius (1)? ou bien peut-on l'introduire humide ou vert, et en obtenir cependant le même effet métallurgique? Si l'expérience montre que le bois desséché produit plus d'effet, sans qu'il soit indispensable de l'employer en cet état, y a-t-il des cas où il soit plus avantageux que tout autre, et eu égard aux frais de préparation

(1) Dans son mémoire sur l'*Emploi des combustibles à l'état naturel, dans les fourneaux*. Journal de Erdman.

qu'il peut exiger? N'y a-t-il pas sous ce rapport, des différences entre les bois durs et les bois tendres? entre les bois qui sont résineux et ceux qui ne le sont pas, surtout lorsqu'il s'agit de les employer seuls et sans mélange de charbon, à la fusion des minerais de fer? Enfin, la projection de l'air chauffé peut-elle influer sur le succès de l'emploi du bois en nature?

Il serait difficile, en ce moment, de répondre d'une manière satisfaisante à ces diverses questions, et nous devons attendre que les résultats des essais que l'on a faits et que l'on varie chaque jour, soient plus nombreux et mieux connus qu'ils ne le sont aujourd'hui.

Mais on peut demander, et la solution importe dès à présent, sur quoi est fondé l'espoir d'obtenir, par le procédé dont il s'agit, une économie notable sur le bois que l'on consomme actuellement pour fabriquer une tonne de fonte, en l'employant à l'état de charbon? C'est tout simplement, ce me semble, sur l'avantage (la plus grande quantité de charbon) qui résultera de la carbonisation qui aura lieu dans la cuve du fourneau, sur ce même bois chargé par le gueulard, et le produit de la carbonisation en meule; la différence peut être énorme, et comme dans le rapport de 30 à 17 ou même à 15, en prenant le charbon au poids; c'est presque du simple au double: on conçoit que, dans l'intérieur et surtout dans les parties supérieures d'un haut-fourneau, les circonstances soient des plus favorables pour opérer (presque sans déchet sur le carbone) la carbonisation du bois, et l'on peut présumer qu'elle s'y fera lentement, par une température régulièrement croissante, et au milieu d'un courant de gaz que l'on peut supposer dé-

pourvu d'oxygène libre; enfin, comme on l'a dit (1), les gaz combustibles qui se dégagent par la distillation du bois, sont peut-être employés à réduire l'oxide de fer des minerais, et c'est autant de charbon de moins de consommé pour cet objet.

On conçoit donc ainsi que, pour des poids égaux de bois employés ou chargés à l'état de charbon et à l'état de bois supposé sec, il arrivera dans l'ouvrage et il s'y trouvera pour fondre le minerai, bien plus de charbon dans le second cas que dans le premier. Toutefois, comme nous ne savons guère ce qui se passe dans un fourneau, que nous ne pouvons suivre les altérations successives qu'y éprouvera le bois ou la houille qu'on y versera; enfin, que ces changements et leurs résultats varieront en raison de circonstances inconnues; il faut en appeler à l'expérience, et désirer qu'on multiplie les essais et les observations sur cet objet important.

Nous serons très-brefs en cette matière, tant parce que les documents sont peu nombreux, que parce que M. l'ingénieur Bineau remplit actuellement une mission spéciale dans le but d'étudier ce que l'on fait dans nos usines, et de recueillir des renseignements précis sur l'emploi du combustible végétal, dans ses divers états, pour fabriquer la fonte et le fer en barres.

De l'emploi du bois seul.

Il y a, en Russie, des fourneaux à fer, dans lesquels, à ce qu'il paraît, on ne charge que du bois qui n'a subi aucune préparation; c'est du bois résineux dont on arrange des bûches (2)

(1) M. Lampadius (Mémoire cité).

(2) De la longueur de $1^{m},42$, qui est celle de la section horizontale du ventre; ses parois sont verticales et hautes

dans le gueulard, de manière à ce que le minerai, que l'on verse dessus, ne passe pas immédiatement dans les interstices de ces morceaux; on rejette d'ailleurs de ce bois tout ce qui est trop menu et d'une forme par trop irrégulière. On a cité le fourneau de Sombula, en Finlande, et celui de Petrozawodsk, qui a été construit sur le modèle du premier, dans l'usine impériale du même nom.

Dans le dernier (1), on traite des minerais que nous nommons minerais des prairies et des lacs (*morasteisenstein* et *seerz*), que l'on doit regarder comme très-aisément fusibles, surtout celui-ci, s'ils ressemblent à ceux que l'on fond en Suède.

Dans le fourneau de Sombula, la consommation du bois est très-grande, et l'on ne trouverait aucun avantage à l'employer en nature, s'il n'était amené à l'usine, par flottage.

Le fourneau de Petrozawodsk consomme des bois de pin et de sapin, dont un certain volume porte plus de minerai que n'aurait pu le faire la quantité de charbon qu'il aurait produit par la carbonisation ordinaire : cet avantage est dans le rapport de 3 : 2, environ, pour les minerais les plus aisément fusibles, et de 2 : 1 pour ceux qui le sont moins. On rapporte que, après un certain temps, lorsque la machine soufflante donna moins de vent, parce qu'elle dut fournir de l'air à d'autres fourneaux, cet avantage se trouva moindre ; la même quantité de bois

---

de 3m,91 (*Traité de chimie* de M. Dumas, tome IV, pag. 661).

(1) D'après M. Lampadius, dans le Journal de Erdman, 1re série, tom. XI, pag. 337.

ne put fondre que 9 pieds cubes de minerai, au lieu de 12; « mais il y avait toujours économie d'*un quart* sur la quantité de charbon qui aurait été consommée, si l'on avait employé la même quantité de bois, convertie préalablement en charbon. »

Ainsi, par le fait même de l'emploi du bois en nature, dans le fourneau dont il s'agit, la consommation du combustible végétal s'est trouvée réduite d'un quart; et, avec la même quantité qui serait consommée par l'ancien procédé, on peut alimenter quatre fourneaux, au lieu de trois, et fabriquer un quart de fonte en sus.

Sans prétendre qu'on doive s'arrêter à ces nombres, toujours plus ou moins incertains, à cause des supputations qu'on est obligé de faire pour réduire, par la pensée, le bois en charbon, ou réciproquement, il semble qu'on ne peut s'empêcher d'admettre qu'il y a eu une économie certaine de bois, dans le fourneau dont nous parlons.

Des essais faits en 1833, dans les usines de la Silésie prussienne, à Malapane et à Creutzbourg, et dont j'ai rapporté ailleurs (1) les détails, d'après M. l'ingénieur des mines Gruner, montrèrent seulement la possibilité de faire de bonnes opérations de fonte, dans les hauts-fourneaux à fer ordinaires (2), et d'en obtenir des produits d'une

(1) *Nouveaux procédés pour fabriquer la fonte et le fer.*

(2) On a bien réussi, en Russie, pour le traitement des minerais de cuivre, dans des fourneaux de forme quadrangulaire, où les bûches s'arrangeaient très-bien, etc.

excellente qualité, et en travaillant à l'air froid; mais on n'y trouva pas d'avantage, ainsi qu'on va le voir.

Le bois de Pinastre (*wilde fichte*), découpé en morceaux de 6 pouces de longueur et de 1 pouce carré de section, fut chargé dans le fourneau, et, après divers tâtonnements, on put obtenir de la fonte grise, en consommant un volume de ce combustible plus que double de celui du charbon que l'on brûle ordinairement, pour obtenir la même quantité de fonte de même nature.

Or, la carbonisation, en meule, de ce même bois, produit plus de 50 pour 100 de charbon, mesurant au volume; et les frais de cette opération sont moindres que ceux résultant du sciage et du fendage des bûches: il faut encore ajouter un surcroît de dépenses pour le transport du bois à l'usine.

Ainsi, ces essais n'ont donné ni économie de combustible, ni diminution dans le prix de revient de la fonte.

Il resterait à reconnaître quelle modification l'emploi de l'air chaud pourrait apporter aux résultats précédents (1), on a dû s'en occuper en 1834; mais nous ne connaissons rien de ce qui a été fait à cet égard, dans cette usine.

---

(1) On observa, à l'air froid, que les charges descendaient plus rapidement qu'avec le charbon, et cela malgré la diminution que l'on crut devoir faire dans la pression du vent: enfin, on reconnut que la température du fourneau était trop forte, dans la partie supérieure où le bois brûlait inutilement, tandis qu'elle était trop faible dans l'ouvrage, lorsqu'on ne forçait pas la charge en combustible. La chaleur fut tellement intense au gueulard, que les plaques qui s'y trouvent commençaient à se fondre.

Du mélange de bois et de charbon.

Aux États-Unis d'Amérique, on a employé, dans quelques fourneaux, le bois en nature, mais toujours mélangé avec du charbon de bois, qui formait les deux tiers (en volume) de la charge. On n'a pas pu aller au delà de cette proportion, sans altérer la marche du fourneau.

Le charbon pouvait être remplacé par un volume égal de bois (chêne ou hêtre), et qui n'avait pas été desséché (1). On a trouvé que l'allure du fourneau de West-Point, dont il s'agit ici, était plus régulière qu'avec le charbon de bois seul; le produit journalier était aussi plus considérable.

Le directeur de cette usine pensait que ces résultats avantageux étaient dus, en grande partie, à ce que le mélange du bois avec le charbon (de très-médiocre qualité) formait un ensemble plus perméable à l'air injecté par les tuyères. On peut, sans doute, croire à l'influence de cet effet mécanique, mais il y a certainement d'autres circonstances à considérer pour expliquer le résultat métallurgique qu'on a obtenu à West-Point. Enfin, on regardait la grandeur du fourneau (qui a 11 mèt. de hauteur, et 4 mètres de diamètre au ventre) comme une circonstance indispensable au succès de l'emploi du bois en nature.

Le fourneau de Stockbridge, à l'air chaud, mais plus petit que le précédent, a aussi paru fondre les minerais de fer avec plus d'avantage, lorsqu'on a mélangé, dans les charges, du bois dans une proportion au-dessous du tiers du volume.

---

(1) Mémoire de M. Chevalier. *Annales des mines*, 3e série, tom. IX, pag. 157.

total, que lorsqu'on n'employait que du charbon seul.

Malheureusement, on ne saurait tirer de conséquence bien certaine de ces résultats, parce que les charbons étant tous mal fabriqués et de mauvaise qualité, l'emploi du bois a pu procurer des avantages économiques qui ne se retrouveraient plus dans les contrées où la carbonisation est passablement exécutée, et le charbon meilleur qu'aux Etats-Unis.

On fait maintenant, dans les usines à fer du royaume, beaucoup d'essais pour remplacer, en partie du moins, le charbon par du bois diversement préparé et dans l'espoir de diminuer la consommation de ce combustible, dans les opérations de la fabrication du fer. Je me contenterai de rapporter quelques-uns des résultats qui m'ont été communiqués dans les forges que j'ai visitées cette annee.

Dans l'un des hauts-fourneaux à l'air froid de Clerval (Doubs), appartenant à MM. Bouchot frères, le bois en nature et non desséché, était employé (depuis 10 ou 12 jours seulement, lors de mon passage), mais mélangé avec du charbon ordinaire, à la proportion de 1 : 2, en volume; on comptait qu'il fallait deux mesures de bois pour en remplacer une de charbon, et, jusque-là, on n'avait pas essayé d'augmenter la dose de bois. On conçoit que l'avantage économique ne peut pas être bien grand, puisque le bois rend souvent à la carbonisation 40 pour 100 de son volume, en charbon, et quelquefois plus de 50; il faut ajouter ensuite les frais de découpage et ceux de transport; il est vrai que la rivière du Doubs amène le combustible sans beaucoup de dépenses.

On était satisfait de la marche du fourneau, qui produisait de bonne fonte de moulage; il se dégageait au gueulard, et peu après le chargement, une grande quantité de gaz combustibles, auxquels on pouvait mettre le feu, et alors la flamme répandait une forte chaleur tout autour de l'orifice du fourneau, sans être lumineuse, du moins pendant le jour.

Le haut-fourneau de Masvaux (Haut-Rhin), à l'air chaud, et qui travaille en fonte de moulage pour seconde fusion, ayant été alimenté par du bois à demi-carbonisé, ce combustible ne donna pas un bon résultat; on observa qu'il brûlait principalement dans la partie supérieure du fourneau, et laissait l'ouvrage trop froid; la fonte était blanche, et l'allure mauvaise : on essaya d'employer le bois en nature en le mêlant avec le charbon ordinaire dans les charges, et à volume égal; la fonte fut très-grise, la marche du fourneau régulière, et le produit journalier ne fut pas diminué. Trois mesures de bois (en morceaux assez gros, mais sciés à 6 pouces de longueur, à peu près comme à Clerval) remplaçaient deux mesures de charbon; ce qui est plus avantageux que dans le fourneau précédent : est-ce à la projection de l'air chauffé qu'est dû ce résultat? C'est ce qu'on ne peut encore décider (1). Il y

(1) Dans ce même fourneau (ainsi que dans quelques autres) on préfère le bois vert au bois sec; on dit que c'est parce qu'il ne brûle pas dans la partie supérieure du fourneau : cela peut bien être, mais ne serait-ce pas aussi parce que le bois vert donne généralement plus de charbon, et un charbon moins friable que le bois sec, ainsi qu'on l'a reconnu dans certaines localités, en opérant la carbonisation en meules?

avait d'ailleurs, et eu égard aux frais accessoires, peu d'avantage pécuniaire, mais d'autres circonstances donnaient de l'importance à cette manière de procéder.

Ces renseignements m'ont été communiqués sur les lieux par M. Gennot, directeur, à Masvaux, et M. Stellin de Bittchwiller.

De l'emploi du bois desséché artificiellement.

Je n'ai presque rien à dire de ce procédé fort nouveau, et que je n'ai pas vu pratiquer, bien qu'il le soit dans diverses usines de la Haute-Saône, appartenant à M. Gauthier. Il a été abandonné par M. Duplessis, à Seveux. 2° Du bois desséché.

Il faut donc attendre encore pour admettre comme certaine, l'économie que l'on dit qu'il procure sur le bois consommé à l'état de charbon. Ce bois est desséché, tantôt au moyen d'air préalablement échauffé, que l'on oblige à traverser des chambres où l'on a entassé le bois; tantôt directement avec les flammes du gueulard. Il est ensuite chargé, mélangé avec du charbon dans les hauts-fourneaux, et même dans les feux d'affinerie, à de certaines époques de l'opération.

Les résultats de la mission actuelle de M. l'ingénieur Bineau nous donneront, sans doute, des notions exactes sur ces procédés, et motiveront le jugement qu'on en doit porter, tant sous le rapport des résultats métallurgiques que sur ses avantages définitifs.

De l'emploi du bois torréfié ou à demi-carbonisé.

3° Du bois à demi-carbonisé.

Le procédé consiste à opérer une carbonisation peu avancée, sur du bois découpé en bûchettes, et renfermé dans des caisses en fonte chauffées par la flamme du gueulard. Il a été décrit plusieurs fois, et en dernier lieu par M. l'ingénieur Sauvage, dans un très-bon mémoire (1). On charge le combustible ainsi préparé, immédiatement dans les fourneaux, et on en a obtenu de fort bons résultats métallurgiques, dans quelques usines que j'ai visitées; on n'en a pas été aussi satisfait dans d'autres, mais sans qu'on ait pu jusqu'ici assigner une cause à ces différences. Peut-être qu'un examen bien fait des circonstances et des observations qui ont eu lieu dernièrement dans les usines de Hayange (et où l'on n'a pas cru devoir continuer de se servir de ce nouveau procédé), pourrait éclaircir la question; mais elles nous sont inconnues.

Pour le moment, nous nous occuperons des résultats obtenus pour le haut-fourneau de Haraucourt (près de Sédan), qui travaille constamment à l'air froid, et en fonte grise, pour le moulage en première fusion. Il est bien constaté qu'en même temps que la nature de la fonte n'a pas changé, que la marche du fourneau a été meilleure et plus régulière, l'économie sur le bois consommé a été d'un sixième, en employant dans les charges le bois torréfié pour les $\frac{2}{3}$ en volume.

On en conclut, par supputation, et en s'ap-

---

(1) *Annales des mines*, 3ᵉ série, tom. XI, pag. 527.

puyant d'ailleurs sur ce qui a lieu dans les usines de Montblainville, etc., que l'on épargnerait un tiers du bois, si la totalité de chaque charge était faite avec le bois à demi-carbonisé, c'est-à-dire sans mélange de charbon ordinaire.

M. Sauvage explique cette économie en considérant que le charbon *roux*, ou bois torréfié, dont il a étudié les propriétés avec un grand soin, possède une plus grande densité que le charbon noir, et un pouvoir calorifique égal : il en résulte que, pour un même volume, le charbon roux produit un plus grand effet calorifique que l'autre; or, puisque le bois amené à l'état de charbon roux en fournit nécessairement une bien plus grande quantité (soit qu'on le prenne au poids, soit qu'on le prenne au volume) que de l'autre charbon, il paraît tout simple que l'on consomme moins de bois, en l'employant dans le premier état, que converti en charbon ordinaire.

Cette explication est fort plausible, elle est fondée sur des faits, et on l'admettra généralement : cependant elle est sujette à quelques difficultés qu'il ne faut pas dissimuler; elle suppose une circonstance qui n'est pas prouvée, et bien loin de là, qui est en opposition avec ce que l'on sait, ou ce que l'on imagine qui se passe dans les foyers où l'on brûle des combustibles renfermant des composants volatils. On suppose, dans l'explication précédente, que la combustion des parties fixes, comme celle des éléments vaporisables, s'opère au même endroit, c'est-à-dire que le charbon roux arrive en entier, et sans avoir subi de décomposition ou distillation, jusqu'au point où doit avoir lieu le maximum de température,

et s'y brûle complétement; enfin que la chaleur produite par les deux sortes d'éléments dont il est composé, concourt au même effet calorifique, ou à l'élévation de la température du foyer : or, c'est évidemment ce qui ne saurait être; la combustion, ou tout au moins le dégagement des parties volatiles auront lieu d'abord, de toute nécessité, et au-dessus de l'endroit où brûlera la partie fixe; de plus, la vaporisation de celles-là, qui s'opérera nécessairement avant leur combustion, refroidira la portion du fourneau où elle s'effectuera, et il est à désirer que ce soit loin du point où l'on veut produire la plus haute température.

On a bien dit (1), il est vrai, « qu'on pouvait, par torréfaction, amener le bois à un état où il peut produire, à volume égal, *le maximum de température dans un* FOURNEAU FERMÉ : c'est encore là une déduction de l'égalité des pouvoirs calorifiques; mais ce n'est pas tout que cette égalité, et je viens d'en donner la raison, pour le cas où il s'agit d'un foyer fermé. La houille a un plus grand pouvoir calorifique que le coke; elle a une bien plus grande densité, et cependant c'est toujours, et, avec raison, que l'on choisit celui-ci, lorsqu'on veut produire une très-haute température, comme dans les fourneaux d'essais, dans les cubilots peu élevés, etc. (2). Faut-il ajouter que

---

(1) *Traité des essais*, tom. I, pag. 276.

(2) Il aurait été bien facile de vérifier cette assertion par une expérience directe, en employant le charbon roux dans le fourneau d'essai, et pour fondre des minerais de fer. Pour ma part, je doute beaucoup qu'on en eût obtenu la même température qu'avec le charbon de bois, et surtout qu'avec le coke, dont le pouvoir calorifique et même la densité diffèrent peu de ceux du charbon roux.

les *fumerons* produits dans *les meules*, en même temps que le véritable charbon, ont été rejetés pendant longtemps, pour l'usage des hauts-fourneaux, et que si, en raison du prix élevé du combustible végétal et des abus auxquels cela donnait lieu, on les emploie aujourd'hui, ce n'est que par petites portions avec le charbon, et en les considérant toujours comme un mauvais combustible; cependant quelle différence faire entre ces fumerons et le bois à demi-carbonisé?

Toutefois, et malgré ces difficultés bien réelles, je crois que l'on peut admettre, d'après divers faits métallurgiques bien constatés, que dans certains cas, la combustion des parties volatiles d'un combustible peut venir en aide à celle des parties fixes, et contribuer par la chaleur qu'elles produiront, à augmenter la température d'un foyer, bien que ces parties dussent être vaporisées (1) et s'être séparées ou dégagées, avant d'arriver dans ce dernier, lorsqu'on les a chargées au-dessus de lui.

Peut-être faut-il chercher ailleurs la cause principale des effets du bois torréfié, de même que du bois chargé dans son état naturel, et aussi pour la houille employée crue dans les hauts-fourneaux, et s'arrêter à cette idée déjà émise d'une carbonisation exécutée dans l'intérieur des fourneaux élevés, dans des circonstances plus favorables que dans les meules, et de manière à produire beaucoup plus de charbon ou de coke, et d'éviter en même

---

(1) On peut penser aussi que les gaz combustibles servant à opérer, en partie, la réduction des oxides métalliques, contribuent à diminuer la quantité de charbon consommé : c'est ce qu'indique M. Lampadius.

temps, tous les déchets qui ont lieu pendant les transports et dans les magasins (1); tout porte à croire, en effet, que, dans la plupart des cas, le produit en charbon peut être presque double, ainsi qu'on l'a vu, pour le bois de celui qu'on obtient des meules; l'effet métallurgique, rapporté au bois, peut donc être considérablement augmenté par-là.

Mais il faut bien admettre aussi que la carbonisation intérieure ne s'exécute pas toujours (et par suite de circonstances peu connues) aussi régulièrement et aussi complétement que nous venons de le supposer : on cite des essais dans lesquels le combustible, chargé cru dans des fourneaux élevés, bois ou houille, est arrivé presque sans avoir éprouvé aucun changement de nature, dans l'ouvrage, tout auprès des tuyères, et par conséquent il en est résulté le plus mauvais effet.

S'il était bien constaté maintenant, par l'expérience, ainsi qu'on me l'a assuré, que l'emploi du bois torréfié est d'autant plus avantageux que la carbonisation en est plus avancée, et qu'il faille laisser chauffer ce combustible dans les caisses pendant 10 heures, au lieu de 4 ou 5 qui avaient été employées juqu'ici, il faudrait reconnaître que le procédé de M. Houzeau Muiron se réduirait à exécuter la carbonisation du bois dans des vases fermés, à l'aide de la chaleur du gueulard du fourneau pour lequel on prépare le charbon, au fur et à mesure du besoin : c'est, au reste, sous ce point de vue que l'on considère le procédé dont il s'agit, dans quelques usines où l'on en fait établir les appareils.

Je ne suis point touché, je l'avoue, des suppositions que l'on a faites relativement à l'emploi du

---

(1) Point d'humidité dans le charbon ainsi formé.

bois en nature, dans les hauts-fourneaux, et qui s'appliqueraient tout aussi bien, ce me semble, au bois à demi-carbonisé, savoir que le charbon parfait ne peut se former dans l'intérieur des fourneaux où l'on charge du bois; que ce charbon serait très-friable, facilement écrasé, et même en partie brûlé, avant d'arriver dans l'ouvrage, etc.; je crois que tout cela peut avoir lieu, mais que ce n'est pas un résultat nécessaire de l'emploi des combustibles plus ou moins desséchés, torréfiés ou carbonisés; et que les causes des effets divers produits par ces combustibles, doivent être recherchées ailleurs que dans l'état où ils sont introduits dans les charges.

Si l'emploi du bois torréfié où *charbon roux*, qui n'a pas réussi partout (1) était cependant reconnu pour un procédé généralement avantageux, et préférable à l'usage (partiel) du bois en nature, il resterait encore à trouver le moyen de le préparer dans les forêts, sur les lieux où l'on exploite le bois, et dans des appareils peu dispendieux, faciles à déplacer, afin de diminuer les frais de transport sur le combustible, et de laisser libre la flamme des gueulards, qui peut recevoir des applications plus utiles; la chaleur nécessaire à l'opération serait produite par la combustion de branchages et autres débris sans valeur. On a fait quelques essais dans ce but, à Hayange, mais sans en avoir obtenu des résultats satisfaisants.

On assure que le bois à demi-carbonisé est employé dans les feux d'affinerie, et à peu près avec le même avantage que dans les hauts-fourneaux.

---

(1) On a observé que, dans quelques hauts-fourneaux, il brûlait trop haut, et laissait l'*ouvrage*, froid, d'où résultait de la fonte blanche, au lieu de la fonte grise qu'on obtenait avec le charbon ordinaire.

De l'emploi de la houille crue dans les hauts-fourneaux.

En partant des notions théoriques que nous possédons sur ce combustible, et remarquant que la houille possède à peu près le même pouvoir calorifique que le coke (1), on est porté à penser que la substitution de l'une à l'autre, dans les hauts-fourneaux à fer, doit avoir moins d'inconvénient que celle du bois, au charbon de bois.

Il en a été réellement ainsi dans quelques localités, bien que, comme nous l'avons déjà fait observer pour le combustible végétal, la condition de l'égalité entre les pouvoirs calorifiques, dans les combustibles substitués l'un à l'autre, ne soit ni la seule, ni même la plus importante des conditions qu'il faille chercher à remplir, dans le cas dont il s'agit.

C'est, comme on sait, dans le pays de Galles que l'on a commencé à remplacer le coke, par de la houille crue, et qu'on en a obtenu le plus de succès pour fabriquer, avec l'air froid, de la fonte de forge; à Decazeville, en 1834, et depuis lors, on a fondu à l'air froid, avec de la houille crue. Il y en a bien d'autres exemples, en Ecosse et ailleurs, dans les fourneaux qui reçoivent de l'air chauffé.

La nature de la houille doit nécessairement avoir une grande influence sur la possibilité d'abord, et ensuite sur les avantages, que l'on trouvera à l'employer crue dans les fourneaux; enfin,

(1) Il est un peu plus grand dans la houille.

l'élévation de ceux-ci, et la quantité comme la vitesse de l'air qu'on y projette, sont aussi à considérer.

Rapportons quelques exemples de l'influence des propriétés de la houille.

Celle qui est bitumineuse et très-collante ne convient pas du tout pour cet usage, et doit nécessairement être convertie en coke, avant d'être chargée dans les hauts-fourneaux ; et en effet, on voit, en Angleterre, des usines où l'on emploie la houille à l'état cru, lorsqu'elle est sèche, tandis que l'on carbonise, pour la charger à l'état de coke, celle qui est bitumineuse.

En 1833, on fit, à Gleiwitz, en Silésie, des essais pour employer, sans carbonisation préalable, de la houille grasse dans les hauts-fourneaux à l'air froid, dans lesquels on fond habituellement avec du coke : j'en ai donné ailleurs (1) le détail, d'après M. l'ingénieur des mines Gruner; il suffit de dire ici qu'il se forma des voûtes dans l'intérieur du fourneau, qui empêchaient par moment le dégagement des gaz, d'où résultaient des explosions très-fortes, qui lançaient des charbons enflammés et du minerai au-dessus des murs d'enceinte de la plate-forme du gueulard; on ne put prolonger ces essais que pendant quatre jours, les explosions continuant toujours d'avoir lieu.

Avec de la houille plus dense et moins bitumineuse, on obtint de bien meilleurs résultats, dans l'une de ces usines royales, à Kœnigshütte (2); voici ce qu'on observa :

« La houille crue, chargée *à volume égal* (à celui du coke, qui formait précédemment la

(1) *Nouveaux procédés pour fabriquer de la fonte*, etc., pag. 101.
(2) *Idem*, pag. 99.

charge en combustible) *put fondre une plus grande quantité de matières que le coke; elle produisit une allure plus chaude qu'à l'ordinaire* (1). Il n'y eut pas d'explosion; la flamme du gueulard fut très-vive et sortait du fourneau avec une extrême vitesse; on augmenta la charge en minerai, pour prévenir une allure trop chaude; la fonte fut bonne pour le moulage en deuxième fusion; on en obtint aussi de bon fer par l'affinage, mais l'opération fut longue. »

Dans un autre essai, fait avec les mêmes matières et dans le même fourneau, on obtint, par une bonne allure, de la fonte d'un grain fin et mat, dont l'éclat était à peine métallique, qui toutefois était bonne pour le moulage; mais par l'affinage qui en fut fait (au feu d'affinerie) *au charbon de bois*, la marche de l'opération fut très-crue, et le fer très-mauvais. Les barres présentaient dans leur cassure un grain fin, sans nerf. »

A Decazeville, la houille crue a remplacé le coke, à peu près poids pour poids; cependant il en faut un peu plus de la première, et lorsque le fourneau se refroidit, par l'effet d'une cause quel-

(1) On conçoit que la houille remplaçant le coke, volume pour volume, ait pù produire une allure plus chaude que ce dernier; celle employée à Kœnigshütte est dense et compacte, et rend 70 pour 100 en coke, sans changer sensiblement de volume, à la carbonisation : en supposant même qu'en se transformant en coke, dans l'intérieur du fourneau, elle n'en ait pas produit plus que dans sa carbonisation ordinaire exécutée à l'extérieur, il reste encore à ajouter la chaleur qu'ont pu donner les gaz et vapeurs combustibles, en brûlant au moyen de l'excès d'air qui se trouve toujours dans les fourneaux à coke, bien plus que dans les fourneaux à charbon de bois. D'ailleurs cette houille peut être assimilée au bois à demi-carbonisé.

conque, c'est en faisant plusieurs charges avec du coke seul, qu'on en rétablit l'allure.

L'avantage métallurgique qui résultera de l'emploi de la houille crue comparé à celui du coke, dépendra des quantités (poids) qu'il en faudra charger pour fondre une même masse de matières, ou, en d'autres termes, du rapport existant entre leurs *facultés de porter des minerais*; or ces facultés sont très-différentes pour diverses espèces de cokes (1), et il en doit être de même à l'égard des houilles, dont la composition et les propriétés sont, comme on sait, très-variées dans les différentes couches des mines.

C'est en raison des propriétés des divers cokes, de leur cohérence, de leur densité, de leur facilité de combustion, de la quantité de cendres qu'ils contiennent, etc., qu'ils peuvent fondre plus ou moins de minerais, et il n'y a que des essais effectués dans de grands fourneaux, qui puissent faire connaître ce qu'on doit en attendre à cet égard; la différence peut dépasser celle du simple au double, comme on l'a vu par les résultats d'essais faits en Angleterre, pays où l'on ne fixe jamais les prix relatifs des cokes de diverses houilles, qu'après vérification faite de leurs effets dans les hauts-fourneaux; si, lors de l'établissement des grandes usines à l'anglaise, que nous voyons maintenant en France, on eût ainsi procédé, au lieu de s'en tenir à des essais de carbonisation, constatant ce que la houille pouvait donner de coke, on aurait évité bien des mécomptes et bien des pertes.

On doit remarquer que c'est la nature du coke

(1) Il est probable qu'elles ne sont pas proportionnelles aux pouvoirs calorifiques des combustibles employés dans les hauts-fourneaux.

(et il en est de même pour la houille crue) que l'on emploie dans les charges, qui influe le plus sur la consommation du combustible, rapportée au mille de matières fondues, et en outre sur le produit journalier des fourneaux, à richesse égale des mélanges; car c'est bien en raison de leurs propriétés, que les cokes divers peuvent supporter des quantités de vent et des pressions d'air (ou vitesses) plus ou moins grandes, ce qui est, comme on sait, la condition essentielle d'une descente rapide des charges et d'un grand produit (1); la quantité de vent se trouvant toujours limitée par la qualité du combustible, et peut-être aussi par d'autres circonstances mal connues.

Dans quelques-unes de nos usines, au Creusot, à Alais et peut-être ailleurs (2), on n'a pu, avec les houilles dont on dispose, en composer la charge complète des hauts-fourneaux; tandisqu'à Decazeville, la substitution a été bientôt totale, et sans qu'il en soit résulté de dérangement dans la marche du fourneau, ni de changement notable dans leur produit journalier, ou dans la qualité de la fonte (de forge) qu'on obtenait avec le coke; au Creusot, comme à Alais, on n'a pas pu introduire plus de moitié de houille crue, dans les charges, sans que le produit journalier, qui n'est

(1) Dans nos grands fourneaux au coke (à l'air froid), de même que dans ceux de la Silésie, le produit journalier ne dépasse guère six tonnes de fonte; avec des minerais très-riches, on allait à sept tonnes à la Voulte, et, passé cela, le métal obtenu donnait beaucoup trop de déchet à l'affinage. En Belgique et dans le pays de Galles, le produit des fourneaux est presque généralement double du précédent. On donne pour cause première de cette différence, la qualité de la houille, et par suite celle du coke dont on se sert.

(2) Dans des fourneaux à l'air froid.

pas fort considérable à l'ordinaire, ne diminuât très promptement; le fourneau se refroidissait notablement, et il fallait le réchauffer avec du coke.

La même chose est arrivée dans les essais de fonte de minerais de ferspathique, faits à Vizille, en 1827, avec l'anthracite de Lamure.

On doit admettre que ce résultat dépend principalement de la nature de la houille employée, et probablement de ce qu'elle se délite ou décrépite à la chaleur, comme le fait ordinairement l'anthracite; enfin, de ce qu'elle se réduit en poussière, pour la plus grande partie, ce qui est, comme on sait, un immense inconvénient, dans les fourneaux à courant d'air forcé.

On peut se demander si l'emploi de l'air chauffé ne pourrait pas modifier ou changer notablement ce résultat? On a cru, dans les premiers temps où ce procédé fut mis en usage, qu'il était indispensable pour pouvoir employer avec avantage la houille crue, dans les hauts-fourneaux; mais l'exemple de ce qui a eu lieu dans le pays de Galles, a fait voir qu'il en était autrement: celui de Decazeville est venu confirmer le premier, et pour des houilles sans doute bien différentes. On doit croire seulement que, pour des combustibles fort difficiles à brûler, comme sont les anthracites, l'action de l'air préalablement échauffé, pourra produire un bon effet dans les fourneaux où on les charge. J'ai appris dernièrement qu'il y avait des houilles ou anthracites, en Angleterre (Galles méridionale), qu'on ne pouvait employer crues, qu'avec le secours de l'air chauffé.

Cependant, il semble que ce procédé ne peut rien contre la réduction du combustible

en poussière, dans l'intérieur d'un fourneau.

Nous pensons, du reste, que, pour la houille comme pour le bois, qu'on emploie dans leur état naturel, l'effet calorifique produit dans l'*ouvrage* des fourneaux ne l'est, et ne peut l'être convenablement, que lorsque ces combustibles y arrivent carbonisés complétement, c'est-à-dire parfaitement dépouillés de tout composant volatil (1); et que l'avantage métallurgique qui résulte de cette manière d'opérer tient uniquement à ce que le coke formé à l'intérieur, et par la chaleur de la cuve (au lieu de l'être à l'extérieur, et dans des circonstances moins favorables) se trouve en bien plus grande quantité que celle qui lui correspond, ou serait produite par le même poids de houille qui a été chargée crue (2); de là, économie sur la houille consommée, suppression des frais de carbonisation et des appareils et fourneaux toujours embarrassants et coûteux, en raison de leur nombre.

On voit par là que, quand la houille en nature

---

(1) Il s'agit des fourneaux élevés, et qui doivent prendre une haute température vers la tuyère; car ni la houille crue, ni même un coke imparfaitement carbonisé, ne conviendraient dans un cubilot de 6 à 7 pieds de hauteur.

On sait que le coke provenant des usines à gaz blanchit la fonte dans les cubilots, et qu'on ne peut en passer que de petites quantités avec de bon coke, si l'on veut conserver au métal sa couleur grise, sa douceur, etc.

Toutefois la houille crue a bien réussi, et est employée depuis assez longtemps, en Silésie, pour fondre des minerais de plomb. (Voyez *Nouveaux procédés*, etc., pag. 102.)

(2) En outre, il n'y a pas de ces déchets qui ont lieu dans les transports et les magasins, et qui sont énormes sur les cokes friables; point d'humidité à vaporiser; moitié moins de cendres à fondre, quand on remplace le coke, poids pour poids, par la houille.

réussit bien dans les hauts-fourneaux, il doit y avoir, en général, des avantages notables à l'employer.

Résumons donc les conditions qui ont paru jusqu'ici devoir se trouver réunies dans une houille, pour assurer ce succès; elles sont au nombre de trois :

1° La houille ne doit pas être trop bitumineuse ou collante, ainsi qu'on l'a vu précédemment : celle qui perd peu par la carbonisation, et qui donnerait un coke fritté, paraît devoir être la plus convenable.

2° La houille en poussière ou en menu, ou seulement en petits fragments d'une grosseur au-dessous de celle d'un œuf, quelle que soit d'ailleurs sa nature, ne peut être employée crue, dans les hauts fourneaux : le mélange de gros et de menu, ne convient pas davantage, et il faut séparer cette dernière sorte.

Il arrive bien souvent que le prix de la houille en morceaux (1) est trop élevé pour qu'on puisse l'employer avec avantage dans les fourneaux, et pour fabriquer de la fonte : c'est ce qui a lieu pour les usines des environs de Saint-Etienne, celles de Vienne, de la Voulte et autres; car le prix de la tonne de coke, fait avec du menu, y est moins élevé que celui de la houille en morceaux dont on pourrait se servir. La fabrication du coke est d'ailleurs le meilleur moyen (presque le seul) de tirer parti de la houille en poussière, lorsqu'elle est collante, sans être cependant de première qualité pour la forge. Il en est autrement à Decazeville, et même au Creusot et à Alais, où le mélange de la houille crue et en morceaux, dans les charges produit toujours une diminution dans le prix de revient de la fonte.

(1) Pérat et Grèle, à Rive-de-Gier.

3° Enfin, la houille ne doit pas se réduire en poussière dans les fourneaux, quelle qu'en soit la cause (1). La friabilité du coke et du charbon de bois est reconnue de même, pour être fort nuisible dans les hauts-fourneaux, et empêche ces combustibles de porter autant de minerai qu'ils le feraient, s'ils étaient plus fermes et plus denses.

L'influence de ces diverses propriétés de la houille sur l'allure plus chaude ou plus froide des hauts-fourneaux est évidente, et confirmée par l'expérience; mais, pour en apprécier toute l'étendue, il faut se rappeler que la quantité et la qualité de la fonte produite, dépendent essentiellement de la régularité de cette allure et de la température du fourneau.

A l'égard de la fonte de forge, il ne paraît pas que, dans les usines où l'on emploie habituellement de la houille crue, la qualité du métal ait éprouvé aucune détérioration, en raison du contact de ce combustible; et, en effet, relativement au soufre qui peut s'y trouver, la différence entre le coke et la houille qui le produit, n'est pas assez grande pour que la fonte soit plus pure, dans un cas que dans l'autre.

Quant à la fonte de moulage, qui demande une allure constamment chaude et soutenue, et dont les propriétés, ainsi que la fabrication, sont en général plus délicates, et demandent plus de soins que l'autre, il pourrait y avoir quelques inconvénients, ou du moins plus de difficultés,

(1) Ces houilles sont généralement comprises dans le genre, dont M. Karsten dit, qu'elles donnent un *coke pulvérulent; et peut-être surtout dans celles désignées par M. l'ingénieur Regnault, sous le nom de houilles sèches à longue flamme* (page 209 de ce tome XII).

pour obtenir toujours un bon produit avec de la houille crue. Je ne connais pas d'exemple de cette fabrication, ni aucune indication de ce qu'il faut faire pour réussir promptement et complétement dans ce cas; ce que nous avons rapporté des essais faits en 1833, dans les usines royales de la Silésie prussienne, semble annoncer qu'on peut former de bonne fonte de moulage, en fondant des minerais de bonne qualité, avec de la houille en nature.

§ V. *De l'emploi des flammes perdues des fourneaux à fer, pour concourir à la production des effets metallurgiques.*

L'air qui a servi à la combustion, dans l'intérieur des fourneaux, ayant été épuisé d'oxigène libre, en sort mélangé avec tous les gaz et les vapeurs formés pendant l'opération, et emporte avec lui une certaine quantité de chaleur, indiquée par la température qu'il possède au gueulard. Le renouvellement continuel et très-rapide de l'air atmosphérique, lancé en grande quantité, et avec beaucoup de vitesse, dans les hauts-fourneaux à fer, par de puissantes machines soufflantes, produit une combustion très-rapide, une haute température dans leur intérieur, et une grande quantité de substances aériformes (gaz et vapeurs), plus ou moins échauffées, qui viennent brûler en partie à l'extérieur. C'est là ce qui constitue *les flammes perdues* des fourneaux, très-bien nommées, puisqu'on les a laissé perdre en totalité, jusqu'à ces derniers temps. Des flammes perdues des hauts-fourneaux.

Les effets calorifiques qu'on en peut obtenir, ou la chaleur qu'elles renferment, dérivent de deux sources différentes, qu'il est d'ailleurs toujours facile de faire concourir au même but : la chaleur qui se manifeste par la température

existant au moment de la sortie du gaz (1), et celle qui sera ou pourra être produite par une combustion complète et bien dirigée des gaz et vapeurs combustibles qu'elles contiennent, en forte proportion; malheureusement l'une et l'autre de ces sources de chaleur sont variables, et d'une appréciation très difficile.

Chaleur sensible ou thermométrique.

La chaleur entrainée, celle qui est sensible et que l'on pourrait évaluer par la température des gaz et vapeurs au sortir du gueulard, et en supposant que l'on pût mesurer la quantité de ceux-ci, présente de grandes différences, non-seulement d'un fourneau à un autre, mais encore dans les diverses circonstances de la marche d'un même fourneau. On conçoit, en effet, que la température conservée par ces résidus gazeux, dépendra, à la fois, et de l'énergie de la combustion intérieure et de la proportion de l'air introduit avec la masse à brûler, dans un temps donné; enfin, des occasions de refroidissement qui se seront manifestées (2):

(1) Il faut considérer cette température 10 minutes, ou environ, après que le chargement a été fait, afin que l'humidité des minerais, et en partie celle des charbons, soit dégagée, et même que le premier effet de refroidissement soit passé; il est vrai qu'alors commence à s'établir une combustion de gaz au gueulard, et que la température y augmente en raison de cela.

(2) La température de ces gaz, au sortir de *l'ouvrage* d'un haut-fourneau, est nécessairement la même que celle qui a lieu dans cet espace; mais ils se refroidissent considérablement et progressivement, à mesure qu'ils rencontrent et traversent les charges qui remplissent la cuve; de sorte qu'après avoir touché les plus récentes, ils peuvent se trouver presque entièrement froids; mais en se refroidissant, ils réchauffent celles-ci par leur contact, et cet effet est non-seulement utile, mais indispensable pour obtenir une très-haute température dans l'ouvrage.

mais une autre cause de cette température, très-influente et mal connue dans son principe, résulte de ce que le combustible (ou une portion du moins) brûle à une hauteur plus ou moins grande, dans la cuve. Il y a des fourneaux qui montrent toujours, ou du moins très-souvent, une forte chaleur au gueulard; on dit alors que le charbon y brûle trop haut(1), et, dans ce cas, il arrive en même temps que l'ouvrage reste froid. On regarde généralement comme défectueuse, ou du moins comme peu économique, la marche des fourneaux où l'on observe beaucoup de chaleur au gueulard; celui-ci doit demeurer sensiblement froid. On attribue ces différences à la forme intérieure du fourneau, lorsque d'ailleurs, on donne le vent en quantité et sous une pression convenables et déterminées par l'expérience.

Des fourneaux où le combustible brûle trop haut.

Il paraît aussi que certains combustibles brûlent plus haut ou plus bas, dans les hauts-fourneaux, et donnent lieu, en raison de cela, à une température plus ou moins forte, dans les parties supérieures de ces appareils.

Les combustibles chargés à l'état naturel, c'est-à-dire contenant beaucoup de gaz inflammables faciles à dégager, donnent toujours une grande chaleur au gueulard; mais il n'est pas certain alors, que cet effet provienne de ce que le combustible brûle trop haut; car cela doit tenir,

(1) J'ai visité plusieurs usines, où l'on m'a dit avoir été dans le cas, pendant une grande sécheresse de l'été dernier, de mouiller le charbon, avant de le charger dans les hauts-fourneaux, et cela pour l'empêcher de brûler trop près du gueulard : on a recours à cet expédient, principalement pour les charbons récemment préparés, et surtout pour ceux fabriqués pendant les grandes chaleurs; il semble qu'ils sont alors trop secs et trop aisément combustibles pour l'usage des grands fourneaux.

en grande partie, à l'inflammation des gaz hydrogénés et des bitumes qui échappent aux premières impressions du feu, et viennent brûler au contact de l'air extérieur.

De la chaleur latente des flammes perdues.

Au reste, la chaleur sensible des flammes perdues des hauts-fourneaux, ne paraît être qu'une faible partie de la quantité totale qu'on en peut obtenir : il en est une autre que l'on peut appeler chaleur latente, bien plus abondante et bien plus énergique dans ses effets, et qui, exploitée avec habileté, peut fournir de grandes ressources à l'industrie du fer, ainsi qu'on va le voir : c'est celle qui peut être produite par la combustion des gaz et vapeurs combustibles qui sortent du fourneau.

La nature et surtout la quantité de ces gaz est nécessairement variable, dans les divers fourneaux, et, dans le même, suivant les circonstances de son allure ; mais il suffit qu'il y en ait toujours une masse notable, qui se produise et s'écoule d'une manière continue, tant que le fourneau travaille, pour qu'on puisse en obtenir des effets importants et suivis ; on peut d'ailleurs remédier ou suppléer facilement à l'insuffisance momentanée de la chaleur des flammes, dans ses applications, ainsi qu'on le verra par les descriptions particulières.

Les premières questions à faire à ce sujet sont les suivantes : quelle est la nature de ces gaz et vapeurs ? Quelle est la quantité de ces matières combustibles qui sort du gueulard, dans un temps donné ? Enfin, quelle est la quantité de chaleur, ou l'effet calorifique qu'on en peut obtenir, terme moyen, et comment la mesurer ?

Malheureusement, il est impossible, quant à présent, de faire aucune réponse satisfaisante à ces diverses questions : nous nous bornerons donc

à l'indication des diverses espèces de gaz combustibles que l'on peut supposer exister dans les flammes perdues des hauts-fourneaux à fer, et nous rapporterons ensuite quelques faits dus à l'expérience ou à l'observation, et destinés à faire juger de la nature et de l'importance des applications que l'on commence à en faire, et de celles bien plus nombreuses que l'on fera par la suite, de ces flammes, pour diminuer la consommation des combustibles, dans la fabrication du fer.

Les gaz résidus d'une combustion qui ne peut pas être complète, dans les hauts-fourneaux, se composent principalement : 1° d'azote qui, comme on sait, ne joue qu'un rôle passif dans presque toutes les réactions de l'air atmosphérique ; 2° de gaz oxide de carbone, qui doit former la plus forte portion des gaz combustibles qui sortent des fourneaux où l'on brûle du charbon de bois ou du coke ; car l'acide carbonique qui a été produit par une combustion énergique du charbon, aux environs de la tuyère, et à la partie inférieure de l'appareil, est nécessairement décomposé, en traversant les lits de combustible qui remplissent la cuve sur une grande hauteur : on sait d'ailleurs que la réduction des oxides, par le charbon donne lieu à la production de ce même gaz.

Si l'on en juge d'après la quantité d'oxygène qu'il absorbe en brûlant, l'oxide de carbone doit développer la moitié de la chaleur que produirait un poids égal de charbon, en brûlant complétement, et de manière à être converti en entier, en acide carbonique. Ainsi donc, s'il était démontré qu'il n'y a pas une molécule de ce dernier gaz, dans les résidus aériformes qui s'échappent par le gueulard des hauts-fourneaux, il faudrait admettre que le charbon consommé dans ces appa-

reils, n'y a produit que la moitié de la chaleur qu'il pouvait donner; ou, ce qui est la même chose, théoriquement (sous le point vue unique de la chaleur développée), qu'on a détruit deux fois plus de charbon qu'il n'était nécessaire, pour produire la même quantité de chaleur, et cela seulement parce que le combustible n'a pas été brûlé complét ment; et qu'au lieu d'acide carbonique, c'est de l'oxide de carbone qui a été produit en définitive, et qui est sorti du fourneau (1) : or, ce résultat étant inévitable, et forcé comme conséquence des dispositions essentielles des hauts-fourneaux à fer, ceux-ci seront toujours des appareils fort défectueux sous ce rapport.

Toutefois, si on considère d'autres fourneaux employés en métallurgie et destinés à produire de très-hautes températures, en grand, tels que les fourneaux à réverbère, etc., on y reconnaît la même imperfection, et des pertes de chaleur toujours très-considérables.

Il ne reste donc pas d'autre moyen de tirer parti du combustible que l'on consomme dans ces divers appareils, que de compléter la combustion de celui-ci, en brûlant à part et d'une manière convenable, le gaz oxide de carbone et les autres vapeurs inflammables avec lesquelles il peut se

---

(1) On a dit, je crois, que les hauts-fourneaux à fer étaient des appareils où l'on fabriquait du gaz oxide de carbone; cela est *malheureusement* vrai, et, pour quelques-uns d'entre eux, peut-être en fabrique-t-on autant que de fonte : mais ce produit n'est ni utile, ni indispensable; et sous le rapport de la chaleur développée, et en supposant qu'elle pût être employée en totalité aux effets métallurgiques qu'il s'agit de produire, c'est l'occasion d'une perte immense sur le combustible consommé pour faire de la onte.

trouver mélangé, et, en appliquant la chaleur des flammes perdues à produire des effets utiles.

On aperçoit d'abord que si l'on voulait établir des calculs sur les bases précédentes, c'est-à-dire sur la possibilité d'obtenir de la flamme une quantité de chaleur égale à celle qui a été développée dans l'intérieur du fourneau, ou équivalente à celle que donnerait, par l'effet d'une combustion complète, la moitié du charbon consommé journellement, dans les hauts-fourneaux, on arriverait à une somme énorme : ainsi, dans les fourneaux où l'on fabrique 3 tonnes de fonte par 24 heures, la consommation en charbon de bois peut être évaluée à 4,500 kilogrammes, dans ce même temps; dans ceux qui produisent 8 tonnes, à 12,000 kilogrammes; dans ceux enfin qui produisent 10, 12 ou 15 tonnes (ces derniers brûlant du coke) elle est souvent de 20, 24 ou 30,000 kilogrammes. La *moitié* de chacune de ces sommes est perdue actuellement; c'est donc, pour les fourneaux au charbon de bois, en moyenne, une perte d'environ 16 millions de calories; pour ceux au coke, d'un produit médiocre, de 31 millions; pour ceux de la Belgique, du pays de Galles, etc., travaillant en fonte de forge, de 95 millions, en 24 heures. Sans doute, ces résultats sont fort hypothétiques, et nous ne les présentons que pour indiquer l'importance de l'objet dont il s'agit : mais il faut pourtant remarquer que dans les évaluations précédentes, on n'a eu égard qu'à une seule cause productrice de la chaleur; et que, dans la réalité et dans l'application, il s'y ajoute naturellement toute la chaleur qui constitue celle de la température de ces flammes, et, en outre, celle qui proviendra des gaz et vapeurs inflammables, autres que l'oxide de carbone, et qui brûleront

La moitié du combustible chargé dans les hauts-fourneaux est perdue pour l'effet utile.

Quantité de combustible brûlée inutilement par chaque tonne de fonte produite, et par 24 heures dans chaque haut-fourneau à fer.

à l'extérieur; ce sont des gaz hydrogènes carbonés dont on ne peut même soupçonner (faute d'analyses) ni la quantité ni la composition ; mais dont les effets (la chaleur) s'ajouteront à ceux du gaz oxide de carbone.

La conclusion de tout ceci est que l'on peut espérer d'obtenir des flammes perdues des hauts-fourneaux, des effets calorifiques très-puissants et très-utiles. Nous allons appuyer ces considérations par des faits de pratique observés sur ce qui existe actuellement, mais dans un petit nombre d'usines et sur une bien petite échelle. Cela suffira toutefois pour confirmer pleinement ces aperçus.

3° Y a-t-il des gaz hydrogènes carbonés parmi les résidus de la combustion dans les hauts-fourneaux? Nous venons de dire que cela est probable : et, en effet, non-seulement l'hydrogène qui est resté dans le combustible (même dans celui qui a été carbonisé), mais encore l'eau hygrométrique ou combinée, qui doit se vaporiser et se décomposer en passant au milieu du charbon dont la cuve est remplie, et dans les endroits où la température est suffisamment élevée, donnera encore de l'hydrogène et de l'oxide de carbone.

En résumé, et si nos présomptions ne nous trompent point, relativement aux substances aériformes qui jouent un rôle et se montrent dans les hauts-fourneaux, il faut considérer qu'on y introduit par la tuyère, de l'air mélangé d'azote et d'oxygène libre, élément négatif de la combustion, et qu'il en sort un mélange du même gaz azote et de gaz combustibles, ces derniers étant un élément de combustion qui n'a pu être employé dans l'appareil, et qui attend un emploi utile au dehors, emploi qui ne peut manquer d'avoir lieu incessamment, et partout sur une grande échelle, en raison

des progrès des arts métallurgiques, vu le haut prix du combustible, et la nécessité d'en diminuer la consommation dans la fabrication du fer.

Tous ces résultats et tous ces effets seront évidemment encore bien plus marqués et bien plus puissants, lorsqu'on chargera dans les fourneaux des combustibles à l'état naturel, ou même à demi-carbonisés, et capables de donner de la flamme (1), au lieu de charbon ou de coke, mais nous ne connaissons pas d'applications de flammes perdues, faites dans ce cas, et qui puissent être indiquées à l'appui de ces assertions.

Des applications des flammes des gueulards des hts-fourneaux.

Jusqu'à ces dernières années (peut-être 1831 ou 1832) l'emploi des flammes perdues des hauts-fourneaux à fer était resté fort borné : M. Aubertot, maître de forges à Vierzon, avait établi (en

(1) J'ai eu occasion dernièrement de reconnaître l'intensité, bien plus grande, de la flamme produite par le bois à l'état naturel, chargé avec mélange de charbon, à Clerval (Doubs). Quelques minutes après que la charge eut été faite, il se dégagea beaucoup de gaz auxquels on mit le feu, et qui, à en juger par le peu de lumière qu'on apercevait (en plein jour il est vrai), et par la grande chaleur que l'on ressentait autour du gueulard, devaient consister, en partie, en hydrogène peu carboné. Pendant la nuit, la lumière est très-notable. Je ne sais pas, d'ailleurs, si ce grand dégagement de gaz et cet accroissement de chaleur, se soutiennent pendant bien longtemps.

Nous voyons aussi, dans l'exposé des résultats obtenus en 1833, dans les usines royales de la Silésie, que lorsqu'on essaya de remplacer, dans les charges, la totalité du charbon par du bois en nature, la flamme et la chaleur, au gueulard, furent si fortes, que la couronne en fonte, qui s'y trouvait, fut sur le point d'être fondue.

J'ai remarqué de même, à Decazeville, en 1834, qu'avec la houille crue, chargée dans les fourneaux, la flamme et la chaleur du gueulard étaient bien autrement intenses qu'avec le coke.

1806) des fours à chaux et à briques qui étaient chauffés par les flammes de ses fourneaux; il avait aussi indiqué quelques autres applications utiles de cette même chaleur (1); mais ces procédés ne se sont guère étendus, peut-être à cause du peu d'importance des applications; on prétendit aussi que ces fours accessoires nuisaient à la marche du fourneau, et occasionnaient une plus grande consommation de charbon : cependant depuis une douzaine d'années, on était revenu de ces préventions, et quelques fourneaux en France, un plus grand nombre en Allemagne, profitaient de la chaleur du gueulard pour faire cuire de la pierre à chaux ou des briques; on en a aussi fait usage pour griller des minerais de fer, à Bendorf, à Masvaux et à Bitschwiller, en se servant d'espèces de fours à chaux.

Depuis qu'on a découvert le procédé de l'air chaud, et qu'on l'a appliqué à la fabrication de la fonte de fer, on a imaginé de chauffer cet air au gueulard, pour les fourneaux à charbon de bois seulement, et rien n'est en effet plus convenable, puisqu'on épargne ainsi toute nouvelle dépense de combustible, et qu'on porte aisément le vent, à la température la plus avantageuse dans ces fourneaux (2).

Mais l'application la plus importante qu'on ait faite de cette chaleur du gueulard, celle qui doit

(1) *Journal des mines*, tom. XXXV, pag. 375-390.

(2) J'ai vu (1837) dans l'usine de MM. Neehr, près de Schaffouse, un four à chaux (ayant la forme d'un four à réverbère à sole fort allongée et recouverte d'une voûte très-surbaissée); à la suite de ce four se trouvait un appareil à chauffer l'air, et le tout était convenablement échauffé par la flamme d'un haut-fourneau.

le plus influer sur l'avenir des forges et sur la fabrication du fer, particulièrement lorsqu'on se sert du combustible végétal, c'est au chauffage des chaudières de machines à vapeur; celles-ci étant destinées à mettre en jeu la soufflerie, et à fournir, en toute saison, à chaque fourneau, tout le vent dont ils ont ou peuvent avoir besoin.

On voit tout de suite comment une semblable innovation (et qui, je le crois, a pris naissance en France) (1) va établir l'indépendance des hauts-fourneaux à l'égard des cours d'eau, permettre de les placer au milieu des forêts, ou du moins à la portée et le plus près possible du combustible; enfin, on pourra probablement, et sans difficultés, leur faire produire journellement une quantité de fonte double et peut-être quelquefois triple de celle qu'ils donnent communément, en augmentant leurs dimensions et le volume d'air qu'ils reçoivent (2).

(1) Depuis plus de dix ans, on emploie la flamme des fourneaux à réverbère à chauffer des chaudières de machines à vapeur: on en voit des exemples en Angleterre et en France, à Imphi (Nièvre), à la Bassindre (Loire-Inférieure), à Raisme (Nord), et récemment à Montataire (Oise). Nous y reviendrons dans la deuxième partie de ce mémoire. La transformation de l'effet calorifique de toutes les flammes perdues des divers fourneaux, et même des fours à coke, en puissance motrice, par l'intermédiaire de la vapeur d'eau, est un des objets les plus importants dont les métallurgistes puissent s'occuper en ce moment.

(2) Les grands fourneaux de Hayange, lorsqu'on y brûle du charbon de bois, produisent (1836) jusqu'à huit tonnes de fonte d'affinage par 24 heures. Il y a aussi des exemples déjà fort anciens (qui datent de trente ans, au moins) de fourneaux à fer en Sibérie, ayant une hauteur de 15 mètres, et une largeur proportionnée, qui produisent, dit-on, des quantités considérables de fonte, par 24 heures.

On a commencé par établir des machines au gueulard, d'abord pour suppléer à la faiblesse des cours d'eau, en certaines saisons; puis on a construit des fourneaux qui sont alimentés d'air uniquement par ces machines, comme on l'a fait à Niederbronn, en 1837; nous verrons que la chaleur des gaz et flammes sortant d'un seul haut-fourneau peut suffire à fournir du vent à plusieurs de ces appareils.

Puisque les résultats théoriques nous manquent pour évaluer la puissance calorifique des flammes perdues des hauts-fourneaux, de même que pour tous les appareils où l'on brûle du combustible en grand, nous allons chercher à en apprécier les effets, lorsqu'on les a transformées en forces motrices, en les employant à former de la vapeur d'eau : malheureusement les applications dont nous avons eu connaissance, étant en petit nombre, et le plus souvent assez mal dirigées, sont loin de donner la mesure de toute la puissance mécanique qu'on peut obtenir de ces flammes.

Une des premières machines à vapeur établies au gueulard d'un haut-fourneau, et pour lui fournir de l'air, en cas d'insuffisance du cours d'eau, est celle d'Échallonge près de Gray, qui fonctionne depuis 1833 ou 1834; elle est de la force de six chevaux, sans condenseur; la chaudière est à bouilleurs qui sont continuellement environnés et échauffés par les flammes du fourneau; elle fournit, ou peut fournir, 500 p. cub. d'air par minute. On y a joint des foyers supplémentaires pour pouvoir la faire travailler, dans le cas où, par suite d'une interruption dans le fondage, les flammes du gueulard viendraient à manquer.

La chaudière à vapeur est placée auprès du gueulard (et il en doit toujours être ainsi), tandis que la machine est établie, ainsi que les cylindres soufflants, sur le sol de l'usine; la vapeur est conduite au piston moteur, dans un tuyau de tôle enveloppé de lisière de drap. Lorsqu'il y a un plateau ou sol ferme, au niveau de la charge, on peut trouver quelque avantage à y établir toute la machinerie.

Une chaudière à vapeur a été établie au gueulard de l'un des fourneaux de Clerval (Doubs); on trouvait (juillet 1837) que la chaleur des flammes était insuffisante pour produire une force de huit chevaux; et, en conséquence, on brûlait de la houille sous une autre chaudière; cependant on voyait s'échapper au dehors, et faute de bonnes dispositions pour la faire entrer, plus de la moitié de ces flammes.

A Mutterhausen, une machine de huit chevaux, est placée au gueulard; elle marche bien, et on laisse perdre volontairement la moitié au moins des flammes.

Dernièrement (août 1837), à Niederbronn, on a établi une machine à vapeur de la force de 18 chevaux, et pour donner le vent à un nouveau haut-fourneau. M. Robin, ancien élève de l'école des mines et directeur de cette usine, ayant bien voulu me communiquer les dessins de toutes les dispositions qu'il a fait exécuter, nous pourrons plus tard les faire connaître en détail; mais, ce qui est plus important pour l'objet qui nous occupe actuellement, ce sont les expériences qu'il a faites pour mesurer exactement le pouvoir calorifique ou plutôt la puissance mécanique que peuvent pro-

duire les flammes perdues d'un haut-fourneau au charbon de bois (1).

Voici les résultats de ses recherches, tels qu'il me les a donnés lui-même (22 octobre 1837).

« Depuis cinq semaines que le fourneau est à » feu, la machine à vapeur fonctionne parfaitement » bien. Pour la mettre en activité, on a consommé » très-peu de houille; depuis lors, elle a continué de » marcher avec la flamme du fourneau, sans qu'on » ait eu besoin d'avoir recours une seule fois, aux » grilles de secours. Loin delà, on a sans cesse » été obligé de laisser échapper la plus grande » partie de la flamme du gueulard, par la che- » minée.

Évaluation de la force motrice que l'on peut produire avec les flammes perdues des hts-fourneaux à fer.

» Depuis quelques jours que le fourneau est en » plein roulement, j'ai fait une suite d'expé- » riences pour connaître la puissance dont la » flamme est capable, et je suis parvenu, en ayant » égard aux quantités d'eau vaporisées et aux » tensions de la vapeur, à ce résultat remar- » quable, qu'elle représente une force de 54 à 72 » chevaux, suivant l'allure plus ou moins chaude » du fourneau (2).

---

(1) Tous les fourneaux auxquels on a jusqu'ici ajouté des machines au gueulard, sont à l'air froid. Il faudrait des dispositions particulières pour chauffer l'air, en même temps, et avec les mêmes flammes; mais certainement il est possible de produire simultanément ces deux effets.

(2) Je ne sais si je commets une indiscrétion, en publiant cette communication confidentielle due à l'amitié de M. Robin. Peut-être ce résultat paraîtra-t-il exagéré; peut-être de nouvelles expériences sont-elles nécessaires pour parvenir à une évaluation plus exacte; mais la conclusion générale n'en est pas moins certaine, et des métallurgistes fort éclairés, bien qu'ils n'aient pu faire aucune expérience directe, pensent que la chaleur des flammes

» De cette force énorme, nous n'utilisons guère » que neuf chevaux.

» On voit donc quel parti étonnant il est possible de tirer d'un élément qui, jusqu'à cette » heure, a été négligé dans les usines : ce résultat » donne aussi une idée de la grande quantité de » combustible qui est consommée sans utilité » pour l'opération métallurgique. »

Nous verrons que, pour les feux d'affineries, et bien que les circonstances ne soient pas les mêmes que dans les hauts-fourneaux, surtout pour déterminer la conversion de l'acide carbonique en gaz oxide de carbone, il y a cependant des flammes capables de produire des effets calorifiques considérables et fort utiles. Jusqu'ici on ne les a employées qu'à chauffer des espèces de fours à réverbère où l'on réchauffe de la fonte et du fer, soit pour l'étirer en petites barres, soit pour le convertir en tôle, etc., comme nous le verrons dans la seconde partie de ce mémoire.

Il est sans doute inutile de dire que la chaleur qu'on se procurera avec les flammes des hauts-fourneaux et feux d'affinerie, cubilots, etc., ou seulement l'excédant de cette chaleur, après qu'on aura chauffé l'air, fourni le vent nécessaire, peut-être encore desséché ou torréfié le bois pour les charges, pourra être employé à former de la vapeur motrice; et la force qu'on en obtiendra pourra servir à mettre en mouvement des trains de laminoirs, et surtout ces marteaux à volant dont on m'a

---

perdues des hauts-fourneaux au charbon de bois, appliquée à des machines à vapeur soufflantes, est suffisante pour fournir du vent à trois ou quatre fourneaux de même grandeur.

paru très-satisfait, dans quelques forges de la Champagne.

Observations sur les moyens à employer pour brûler les gaz combustibles.

Nous terminerons par quelques observations critiques sur la manière dont on cherche à faire brûler les parties combustibles des flammes : dans quelques usines, on laisse l'air extérieur se mélanger avec la flamme, au sortir du gueulard, et par conséquent sans s'être réservé aucun moyen d'en régler l'introduction ; ailleurs, on voit des ouvertures toujours béantes (comme dans l'appareil de chauffage pour l'air, à Wasseralfingen) qui donnent accès à l'air, et souvent à une assez grande distance du point de l'émission de la flamme;..... tout cela peut suffire lorsqu'on se contente d'employer seulement un huitième ou un dixième de la chaleur que l'on pourrait développer; mais bientôt il en sera tout autrement; et alors, on aura à déterminer: 1° la proportion la plus convenable d'air qu'il faut introduire et mélanger avec les flammes pour les faire brûler complétement, et, en définitive, en obtenir le maximum de la quantité de chaleur qu'elles peuvent produire. On sait qu'un trop grand excès d'air produit un refroidissement qui n'est plus compensé par l'effet d'une combustion plus complète des gaz.

2° Il faudra chercher quel est l'endroit de l'appareil où il convient le mieux de faire arriver l'air extérieur, en ayant soin que la température y soit toujours suffisamment élevée, pour déterminer, ou pour y continuer l'inflammation.

3° Enfin on pourra, en dirigeant l'introduction de l'air au milieu des flammes et des gaz combustibles échauffés, étendre ou porter la chaleur qu'ils sont capables de produire, à des distances plus ou moins grandes du foyer, en rehaus-

ser la température, en certains endroits, etc., suivant les effets que l'on veut en obtenir.

Tous ces objets, et les dispositions qui s'y rapportent, sont des matières neuves ou à peu près, et qui se recommandent particulièrement à l'attention des praticiens.

De l'emploi des flammes perdues des hauts-fourneaux qui consomment du coke ou de la houille crue.

On ne connaît guère d'exemples de l'emploi des flammes du gueulard des fourneaux à coke : M. Dufrénoy (1) rapporte que l'essai fait en Angleterre, à la forge de Wenesbury, pour chauffer le vent, au moyen de la chaleur qui sort du fourneau, n'eut pas de succès, et qu'il fallut ajouter un foyer spécial, pour porter le vent à une température suffisante; elle n'était que de 182° c. : cette application fut abandonnée, ou n'eut pas d'imitateurs. Il semblerait tout naturel d'en conclure que cette chaleur se trouva insuffisante pour cet objet; mais je crois que ce serait une erreur grave (2).

Les considérations que nous avons exposées

(1) Dans son mémoire sur *l'air chaud*, publié en 1834, page 49-52.

(2) Je supposerais plutôt que la distance qui sépare le gueulard de la tuyère étant assez grande dans ces fourneaux, la température de l'air s'était fort affaiblie; ou bien que l'appareil était mal disposé.

Ce qu'il y a de certain, c'est que les fourneaux de Hayange, dont l'un a 40 pieds d'élévation, lorsqu'on y charge du coke seul en remplacement de charbon de bois, chauffent également l'air dont ils sont alimentés, et par un appareil placé au gueulard.

précédemment, à l'occasion des fourneaux à charbon de bois, sont également applicables à ceux qui brûlent des combustibles minéraux : il y a même lieu de croire qu'en raison d'une plus grande consommation de coke, par heure ou par tonne de fonte produite, il s'y forme une bien plus grande masse de gaz oxide de carbone, que dans les autres fourneaux; leurs flammes perdues, plus abondantes, pourraient donc produire plus de chaleur : toutefois, il est juste de ne pas oublier que, la masse d'air lancée dans ces fourneaux étant toujours plus considérable, relativement à la quantité de fonte obtenue, que dans les fourneaux à charbon de bois, il peut se faire que les gaz combustibles qui sortent du gueulard, soient mélangés d'azote en plus forte proportion, et par cela seul soient moins aisément inflammables que les autres; mais toujours demeure-t-il certain que leur quantité, prise dans un temps donné, est bien plus considérable que dans les fourneaux à charbon de bois; et qu'on laisse perdre dans les uns, comme dans les autres, et se répandre dans l'atmosphère, un immense volume de gaz et vapeurs combustibles, dont la puissance calorifique équivaut, ainsi que nous l'avons montré, à la moitié de celle du combustible consumé annuellement dans le fourneau : il faudra bien finir par en tirer un parti utile (1), et le moment paraît être arrivé.

---

(1) Le célèbre Fourcroy nous disait, à l'école Polytechnique, il y a trente ans, que toute fumée sortant d'une cheminée accusait notre ignorance. Que doit-on penser en visitant une usine à fer, pendant la nuit, et en voyant sortir des hauts-fourneaux, et de chacun des

Les principales difficultés, qui ont pu s'opposer jusqu'ici à l'emploi des flammes des fourneaux à coke, résultent sans doute de l'élévation de ceux-ci, ce qui rend un peu plus coûteux l'établissement des appareils de chauffage, qui doivent toujours être fort rapprochés de leur sommet; lorsque ces fourneaux sont isolés, comme en Belgique, il y a bien quelque embarras à ce sujet; mais en France, où l'on voit dans presque toutes les usines à l'anglaise, des terrasses et des espaces libres, au niveau du gueulard des fourneaux, il y a plus de facilités, et cependant on n'a pas fait davantage pour employer les flammes perdues. Reconnaissons donc que c'est par incurie, par l'habitude où l'on est de voir consommer d'immenses quantités de houille dans ces usines, qu'on n'a fait aucun effort, aucun essai pour en tirer tout le parti possible; l'imitation de ce qui se passe en Angleterre, où l'on donne si peu de soins à l'économie de la houille, a pu être funeste sous ce rapport; mais les circonstances ne sont pas les mêmes en France, ni en Belgique, où la houille, propre à donner du coke, est rare et chère, et où il n'est plus permis de négliger une telle source de chaleur.

Parmi les applications que l'on peut faire des flammes perdues des fourneaux à coke, on doit indiquer d'abord celle qui réussit si bien pour les fourneaux à charbon de bois, savoir d'employer la force motrice qu'elles peuvent produire, à renforcer les machines soufflantes, généralement trop

---

nombreux fours à réverbère qui les accompagnent souvent, non pas de la fumée, mais des torrents de flamme qui se dissipent en pure perte dans l'atmosphère?

faibles dans nos usines, et pour faire produire aux fourneaux une masse de fonte égale à celle des fourneaux du pays de Galles et des environs de Charleroy.

(La suite à la prochaine livraison.)

EXAMEN

Chimique et microscopique de quelques cendres volcaniques ;

Par M. DUFRÉNOY, ingénieur en chef des mines.

Les laves présentent des caractères extérieurs souvent tellement analogues, qu'il est difficile de les distinguer. Elles sont toutes grises, bulleuses et formées par la réunion de petits cristaux qui appartiennent principalement à l'ordre des feldspaths. Cependant quand on examine les laves avec attention, on reconnaît qu'elles sont fréquemment composées d'éléments différents, de sorte que leur nature est en réalité assez variable ; cette différence est telle qu'il serait possible que chaque volcan produisît une lave particulière.

La cristallisation confuse des laves, et la difficulté de reconnaître leurs éléments, lors même qu'un refroidissement lent a permis à ces roches de prendre une texture cristalline, sont autant d'obstacles qui ont empêché jusqu'à présent d'en déterminer la nature d'une manière un peu précise.

La texture des laves varie avec l'inclinaison du sol, sur lequel elles se sont solidifiées : cette différence exerce une bien faible influence sur leur composition, et celles produites par une même éruption sont presque toujours homogènes, et si l'on compare sous le microscope des poussières d'une lave prise en différentes parties d'une coulée, on est surpris de l'identité qu'elle présente dans toute sa longeur. Cette identité se reproduit, il est vrai pas aussi complé-

tement pour des coulées différentes d'un même volcan; il résulte de cette disposition que l'analyse chimique des laves sans faire connaître d'une manière exacte leur composition, offre toujours de l'intérêt et qu'elle fournit des indications précieuses qui permettent, dans beaucoup de cas, de distinguer les produits de volcans différents. Pour arriver à des résultats probables il faut faire des analyses nombreuses, et sur des laves prises en des points différents; c'est la composition générale qu'il faut étudier, et l'on ne doit pas rechercher dans l'analyse des roches, des résultats atomiques comme dans celle des minéraux purs.

Parmi les produits des volcans, les sables fins qu'ils rejettent et que l'on désigne géneralement sous le nom de cendres sont les plus intéressants à examiner. L'isolement de chacune de leurs parties permet de faire subir à ces sables des opérations successives qui offrent l'avantage de fractionner les analyses, et si on les soumet alternativement aux réactions chimiques et à l'examen microscopique, on parvient souvent à séparer la plupart des éléments qui les composent.

La comparaison de ces poussières naturelles, avec celles que l'on obtient par la trituration des laves, fait voir en outre, que ces déjections, en apparence de nature si différente des autres produits des volcans, sont cependant presque identiques avec eux ; les cendres présentent même un grand avantage qui tient à la manière dont elles se sont probablement formées. Les grains dont elles se composent sont presque toujours des minéraux distincts, tandis que la poussière produite par la trituration des roches est fréquemment composée de grains présentant la réunion de plu-

sieurs minéraux, de sorte que ces grains sont souvent la représentation sur une très-petite échelle de l'échantillon lui-même. L'isolement des minéraux qui composent les cendres, offre le moyen de mettre en jeu les pesanteurs spécifiques. On peut séparer assez facilement par ce procédé certaines substances telles que le pyroxène.

Cette disposition particulière des cendres volcaniques me fait présumer qu'elles sont plutôt le résultat d'une cristallisation confuse, produite sous l'influence d'une vive agitation, comme le salpêtre destiné à la fabrication de la poudre, que le produit de la trituration des laves dans la cheminée des volcans. Leur ensemble n'en représente pas moins la composition générale de la lave.

Cendres rejetées par les volcans de la Guadeloupe. Les volcans de cette île ne sont plus dans un état d'activité complet, mais cependant ils rejettent de temps à autre des cendres en quantité considérable. M. Biot a présenté à l'Académie des sciences, dans sa séance du 3 mai 1837, des cendres rejetées en 1797 et en 1836 (3 décembre), ainsi qu'une poussière provenant d'une alluvion boueuse du même volcan arrivée le 12 février 1837. M. Elie de Beaumont a déjà fait quelques essais sur ces cendres, et moi-même je les ai soumises à un premier examen, dont le résultat a été communiqué à l'Académie des sciences dans sa séance du 15 mai 1837 (1). Ces premiers essais, qui ont consisté dans l'analyse de la partie de ces sables soluble dans les

(1) Compte rendu de l'Académie des sciences, 1er semestre de 1837, page 743.

acides, ayant montré qu'il y avait quelque intérêt à connaître leur composition, j'ai repris ce travail et je les ai analysés complétement. Les deux cendres de 1797 et 1836, ainsi que le sable de l'alluvion boueuse de 1837, m'ont offert une grande analogie de composition et de caractères minéralogiques. Ce fait me paraît intéressant à constater, en ce qu'il confirme l'opinion que les produits des mêmes volcans quelquefois si différents d'aspect sont de même nature, et que les modifications de texture qui les distinguent tiennent le plus ordinairement aux circonstances sous l'influence desquelles ils se sont solidifiés.

Cendres de 1797. Ces cendres sont très-fines, d'un gris-foncé; elles ont un goût astringent, douceâtre, prononcé, dû à un mélange de sels.

Examinées au microscope, elles se composent de deux éléments différents; le plus abondant forme des grains anguleux très-hyalins; quelques-uns de ces grains sont irisés et présentent le phénomène des anneaux colorés, disposition qui annonce qu'ils sont très-lamelleux. Du reste, aucun de ces grains ne possède de forme ni de clivages distincts.

Le second élément est blanc laiteux : quoique entièrement cristallin, il n'a offert aucune trace certaine de cristallisation.

Au chalumeau ces cendres sont fusibles en émail blanc, un peu plus facilement que le feldspath orthose.

Desséchées sur un tet de porcelaine, elles perdent de 8 à 9 pour cent d'eau hygrométrique.

Le barreau aimanté y indique la présence du fer oxidulé titanifère; 22^{gr},75 de ces cendres

m'en ont donné 0gr,0135 correspondant à 0,58 pour mille.

La saveur astringente indiquant la présence des sels, je les ai recherchés en faisant bouillir les cendres avec de l'eau distillée. J'ai trouvé qu'elles en contenaient 2,42 pour cent, composés à peu près de $\frac{2}{3}$ de sulfate de potasse et d'alumine, et de $\frac{1}{3}$ de sulfate de fer et de chaux. Les essais les plus minutieux n'ont pu y indiquer la présence de chlorures.

L'acide sulfurique et l'acide hydrochlorique concentrés et bouillants, attaquent assez fortement ces cendres. L'examen au microscope du résidu montre que les grains blancs laiteux sont complétement dissous par cette opération. La dissolution dans les acides permet donc non-seulement de fractionner l'analyse en deux parties distinctes, mais elle isole en outre les deux espèces de grains dont se composent les cendres et fournit ainsi le moyen de connaître la nature de chacune d'elles.

Quelques essais préliminaires m'ayant conduit au résultat intéressant que je viens d'indiquer, j'ai fait deux analyses des cendres; l'une sur 4gr,205, l'autre sur 4gr,035. Pour favoriser l'action des acides, les cendres ont été porphirisées avec soin quoiqu'elles fussent déjà à un grand état de ténuité. Je les ai ensuite fait bouillir pendant une demi-heure avec de l'eau distillée qui a dissous les sels. Cette liqueur ayant été décantée, j'ai ajouté de l'acide hydrochlorique concentré sur les cendres, et j'ai fait bouillir ce mélange pendant plusieurs heures. L'attaque étant complète, j'ai filtré les résidus, dont j'ai séparé la silice gélatineuse avec de la potasse caustique; j'ai analysé

séparément les deux liqueurs contenant les parties solubles des cendres, mais j'ai réuni en une seule opération les résidus inattaqués pesant 2gr,36 et 2gr,275, ainsi que les eaux chargées de sels.

Cette première opération a fractionné les 8,240 de cendres en quatre parties distinctes, de la manière suivante :

	gr.	en 100e.
Substance insoluble dans les acides. .	4,635	0,5625
Substance soluble (par différence). .	2,685	0,3258
Sels.	0,200	0,0242
Eau obtenue dans un autre essai. . .	0,720	0,0875
	8,240	1,0000

Les liqueurs muriatiques évaporées à siccité ont donné la silice. L'alumine et le fer, précipités ensemble par l'ammoniaque, ont été isolés par une dissolution de potasse caustique ; l'oxalate d'ammoniaque a séparé la chaux. Enfin, on a recherché la magnésie et les alcalis, mais ces liqueurs n'en contenaient pas la plus légère trace.

Ces deux analyses ont donné pour la composition de la partie des cendres soluble dans les acides :

	1re analyse.	2e analyse.	Moyenne.	en 100e.	Oxygène.
	gr.	gr.	gr.		
Silice . . .	0,801	0,761	0,781	0,5819	0,2923
Alumine . .	0,320	0,318	0,319	0,2377	0,1110
Chaux . . .	0,135	0,127	0,131	0.0976	0,0274
Oxide fer. .	0,101	0,093	0,097	0,0722	0,0221
Perte. . . .	0,010	0,017	0,014	0,0106	
	1,367	1,316	1,342	1,0000	

Pour faire l'analyse de la partie insoluble dans les acides, je l'ai mélangée avec cinq parties de carbonate de baryte obtenu artificiellement. Je

l'ai ensuite exposée à une chaleur très-forte dans un creuset de platine. La masse agglutinée a été mise en digestion dans de l'acide hydrochlorique étendu de la moitié de son volume d'eau. Une certaine quantité de la substance n'avait pas été attaquée, je l'ai séparée par décantation, puis je l'ai fait bouillir avec de la potasse caustique pour enlever la silice gélatineuse qui y était mélangée. Ce résidu inattaqué pesait 0gr.,452.

Après avoir obtenu la silice, en évaporant la liqueur muriatique à siccité, j'y ai versé du carbonate d'ammoniaque. Par ce procédé, j'ai séparé de suite les alcalis de la baryte et des autres substances que contiennent ces cendres.

J'ai repris les carbonates par de l'acide sulfurique étendu, la baryte a été transformée en sulfate et a été la seule substance qui n'a point été dissoute; l'alumine, le fer, la chaux et la magnésie ont été successivement séparés par les procédés ordinaires.

Pour obtenir les alcalis j'ai évaporé à siccité la liqueur muriatique qui les renfermait : puis j'ai calciné les sels dans une capsule de platine. Les alcalis qui étaient alors à l'état de chlorures pesaient 0,759. J'ai ensuite séparé la potasse et la soude au moyen du chlorure de platine. Cette opération m'a donné :

Chlorure double de potasse et de platine	gr. 1,54 ;	d'où potasse	gr. 0,298
Chlorure sodique (par différence)	0,288 ,	— soude	0,154

La composition de la partie des cendres insoluble dans les acides est :

	gr.	en 100°.	Oxygène.	
Silice.	2,598	0,6210	0,3226	—10
Alumine	0,937	0,2241	0,1047	— 3
Chaux	0,036	0,0085	0,0024	— 1
Magnésie.	0 096	0,0231	0,0089	
Potasse.	0,298	0,0712	0,0121	
Soude	0,154	0,0368	0,0094	
Substance inattaquée.	0,452	»		
Perte.	0,064	0,0153		
	4,635	1,0000		

Dans le calcul de cette analyse en centièmes, on a supprimé la partie inattaquée.

Pour compléter l'analyse de ces cendres, il reste encore à examiner la nature des sels qui ont été dissous dans l'eau ; des essais antérieurs ayant montré qu'ils ne contenaient que des sulfates, j'ai seulement cherché les bases. J'ai trouvé pour leur composition :

	gr.
Sulfate d'alumine et de potasse. .	0,140
Sulfate de chaux.	0,036
Sulfate de fer (par différence). .	0,024
	0,200

L'examen microscopique de cendres soumises à l'action prolongée des acides a fait voir, ainsi qu'on l'a annoncé ci-dessus, que les grains blancs laiteux constituent la partie soluble, tandis que les grains hyalins sont inaltérables par ce procédé. Si on discute maintenant les analyses de ces deux espèces de grains, il en résulte que les grains solubles appartiennent à une espèce minérale particulière, dont la formule est du même genre que celle du Labrador, dans laquelle l'alcali est remplacé à la fois par du protoxide de fer, et de la chaux. Si donc l'on admet avec MM. Beudant et Rose, que dans le Labrador, la chaux soit isomorphe

de la soude, les cendres de la Guadeloupe seront formées en partie de ce genre de Labrador. En effet, cette espèce minérale est représentée par la formule NS^3+3AS, indiquant que la silice contient six fois autant d'oxygène que la soude, et le double de la quantité contenue dans l'alumine. Cette proportion atomique existera entre les éléments des grains blancs laiteux, si on suppose que le fer qui entre dans leur composition soit au minimum, ce qui est probable d'après la couleur de ces grains, il sera alors isomorphe de la chaux, et la somme de l'oxygène de ces deux bases à un atome 0,0495 sera presqu'exactement la sixième partie de l'oxygène de la silice. La proportion d'alumine sera seulement un peu faible, mais il est possible que le fer en contienne une petite quantité.

Dans l'analyse des grains hyalins, la relation de l'oxygène entre les bases à un atome prises toutes ensemble, et l'alumine est de 3, comme dans le Ryacolithe, mais la proportion de l'oxygène de la silice est trop forte pour qu'on puisse établir ce rapprochement d'une manière certaine, car elle est de 10 dans les grains hyalins, tandis qu'elle est seulement de 6 dans la formule adoptée par M. G. Rose, comme représentant la composition du Ryaçolithe.

Si l'on substitue dans l'analyse générale des cendres, le Labrador et le Ryacolithe à leurs éléments, elle devient :

Labrador à base de chaux et de fer. .	0,3259
Ryacolithe?	0,5568
Fer oxidulé titanifère.	0,0058
Sulfates de potasse et d'alumine	0,0170
Sulfate de chaux.	0,0045
Sulfate de fer.	0,0025
Eau hygrométrique	0,0875
	1,0000

Cendres de l'éruption de décembre 1836. Cette poussière est d'un gris clair; vue sous le microscope, elle est composée de deux parties différentes à peu près en proportions égales, l'une hyaline, complétement transparente, est criblée d'une grande quantité de bulles comme certains quartz de Madagascar. Quelques grains de cette première substance ont présenté des clivages très-nets dans deux directions.

La seconde substance est d'un blanc laiteux en grains amorphes.

Ces éléments sont du reste essentiellement identiques avec ceux que l'on a indiqués dans les cendres provenant de l'éruption de 1797, seulement leur proportion est différente, les grains blancs laiteux que l'on est conduit à regarder comme du Labrador sont plus abondants.

On voit de distance en distance quelques grains jaunes qui appartiennent à du soufre.

On a soumis ces cendres aux mêmes essais que les précédentes.

Au chalumeau elles sont également fusibles en émail blanc.

Calcinées, elles perdent une forte proportion d'eau; leur surface se couvre d'une légère flamme bleue, due à du soufre qui brûle.

Dans l'acide hydrochlorique, elles sont fortement attaquables; elles contiennent environ 40 pour 100 de substance soluble.

Cette opération décompose ces cendres de la manière suivante :

Substance insoluble dans les acides . .	0,5088
Substance soluble.	0,3972
Eau hygrométrique par calcination. . .	0,0693
Soufre par sublimation.	0,0062
Perte.	0,0185
	1,0000

J'ai fait ensuite comme pour les autres cendres, une analyse de la partie dissoute et une de la partie non attaquée. J'en transcris les résultats.

Partie soluble dans les acides.

		Oxygène.
Silice . . .	0,5930—	0,3081
Alumine . .	0,2231—	0,1048
Chaux . . .	0,0882	0,0252
Oxide de fer.	0,0702	0,0154
Magnésie . .	0,0045	0,0018
Soude. . . .	0,0048	0,0012
Perte. . . .	0,0162	
	1,0000	

Partie insoluble dans les acides.

		Oxygène.	
Silice . . .	0,6312—	0,3279	—10
Alumine. .	0 2085—	0,0974	— 3
Chaux. . .	0,0142	0,0040	1
Magnésie .	0,0160	0,0062	
Potasse . .	0,0821	0,0139	
Soude. . .	0,0310	0,0079	
Perte . . .	0,0170		
	1,0000		

La composition de la partie des cendres qui s'est dissoute dans les acides se rapproche beaucoup de la même partie dans les cendres de 1797; la seule différence consiste dans une petite quantité de soude que contient cette analyse. Sa présence rend plus probable l'association proposée avec le Labrador. Quant à la composition des grains hyalins, elle est fort analogue à celle de la partie correspondante des cendres de 1797; mais elle s'écarte assez fortement de la formule adoptée pour le Ryacolithe, qui est (N, K) S'+ 3 AS, tandis que l'analyse ci-dessus conduirait à la formule (N, K, C, M) S + 3 AS'.

L'analogie de composition des cendres de 1797 et de 1836 ne peut pas être le résultat du hasard; elle tient à ce que les produits d'un même volcan sont de même nature. Il en résulte donc que si l'élément hyalin appartient au Ryacolithe, il faut nécessairement modifier la formule qui représente la composition de cette espèce minérale. Cette hypothèse est, du reste, complétement confirmée par les analyses que M. Berthier a faites des feldspaths vitreux du Drackenfelds et du Mont-Dore. La composition de ces derniers feldspaths, qui ont été décrits depuis par M. G. Rose, comme appartenant au Ryacolithe, se rapprochent beaucoup de la formule $(N, K, M, C) S + 3 A S^3$, à laquelle conduit l'analyse des cendres de la Guadeloupe.

L'analyse générale des cendres de l'éruption de 1836 devient, en mettant le Labrador et le Ryacolithe à la place de leurs éléments :

Labrador à base de chaux et de fer. .	0,3972
Ryacolithe ?	0,5057
Fer titané.	0,0031
Soufre libre.	0,0062
Eau hygrométrique	0,0693
Perte	0,0185
	1,0000

Sable provenant de l'alluvion boueuse qui a eu lieu à la Guadeloupe, le 12 février 1837. Ce sable est à grains beaucoup plus gros que les cendres; il paraît aussi moins homogène, et il a toute l'apparence d'un dépôt charrié par les eaux.

Le microscope montre que ce sable est composé de quatre minéraux distincts, et en proportions fort différentes. Il contient :

1° Des grains d'un blanc laiteux, qui forment environ 25 à 30 pour cent du sable.

2° Des grains hyalins très-brillants, analogues à ceux que nous avons admis dans les cendres de 1797 et de 1836 comme étant du Ryacolithe. Seulement ces grains possèdent des clivages distincts; leur grosseur permet, en outre, de remarquer qu'ils sont bulleux et très-fendillés, circonstances qui leur donnent la plus grande analogie avec de la poussière de feldspath vitreux du Mont-Dore.

3° Des grains assez nombreux d'une substance à cassure vitreuse, très-éclatante, et dont la couleur est le jaune hyacinthe; d'après ses caractères extérieurs, ce minéral est complétement analogue à de l'essonite, ou à la variété d'idocrase qui provient de la Somma.

4° Quelques grains noirs assez rares, formant de 2 à 3 pour 100, et qui paraissent appartenir à du pyroxène.

Plusieurs de ces grains sont composés à la fois de parties noires et de parties hyalines n° 2 ; ils ressemblent à des fragments d'une roche porphyroïde ou d'un trachite. Cette disposition n'a point été observée dans les cendres.

5° Enfin, le barreau aimanté a fait reconnaître une certaine proportion de fer oxidulé titanifère.

Ce sable, soumis aux mêmes essais que les cendres, a été fusible en émail gris, et a donné

8,50 d'eau. Sur 4gr.,85, 1gr.,33 ou 27,43 pour 100 ont été solubles dans l'acide hydrochlorique concentré.

L'analyse de cette partie dissoute a donné :

Silice	0,766	0,5760
Alumine.	0,317	0,2382
Chaux	0,118	0,0875
Fer	0,092	0,0707
Perte.	0,037	0,0276
	1,330	1,0000

Cette composition est complétement analogue à celle des grains blancs laiteux des cendres.

Une remarque intéressante, qui ressort de la comparaison de cette analyse et de celle des cendres du même volcan, c'est que le fer forme, ainsi qu'on l'a déjà fait observer, un élément essentiel de cette variété de Labrador; la forte proportion de cette base, qui est à peu près de 7 pour 100 dans chacune de ces analyses, ne peut pas être accidentelle. Il y aurait donc dans le Labrador, comme dans le pyroxène, des variétés à base de chaux, et d'autres à base de chaux et de fer. Cette circonstance particulière confirme ce que nous avons annoncé, que les produits d'un volcan sont de même nature, quels que soient leur texture et l'état sous lequel ils ont été rejetés.

L'identité complète de caractères extérieurs des grains hyalins qui entrent dans la composition des sables provenant de l'alluvion et de ceux qui existent dans les cendres, me fait présumer qu'ils sont de même nature. J'aurais désiré m'en assurer par l'analyse, mais n'ayant pu isoler, par

aucun procédé, cette substance des grains de couleur hyacinthe, j'ai pensé que cette analyse serait peu instructive, et je ne l'ai pas faite.

Cendres du volcan de Cosigüina dans l'Amérique centrale. Le volcan de Cosigüina, situé dans la province de Nicaragua, fait partie d'un promontoire qui borne à l'ouest la baie de Fonsoca. Dans le mois de janvier 1835, ce volcan a eu une éruption, dans laquelle il a rejeté une quantité considérable de cendres. Dans quelques endroits elles formaient trois couches distinctes. M. le docteur Roulin a remis à l'Académie, des cendres provenant de cette éruption, et M. Elie de Beaumont lui a déjà communiqué, dans sa séance du 17 juillet dernier, le résultat de quelques essais que nous avons faits de concert sur cette poussière volcanique.

Les cendres de Cosigüina sont d'un gris blanchâtre; elles sont extrêmement fines et doivent avoir été recueillies assez loin du volcan. Pour distinguer la nature des grains qui les composent, il faut se servir d'un microscope dont le grossissement soit d'au moins 200 fois, et ce n'est qu'avec le grossissement de 350 fois que l'on peut apercevoir les clivages assez nets qu'ils présentent. Ces cendres, vues au microscope, sont homogènes. Elles sont presque entièrement composées de grains blancs hyalins très-lamelleux, beaucoup de fragments présentent des clivages très-voisins de l'angle droit, si même ils ne sont pas rectangulaires. Le tissu lamelleux est mis à découvert par le phénomène des anneaux colorés. Il y a quelques grains noirs, très-rares, et quelques-uns colorés en brun. Le barreau aimanté indique la présence d'une proportion très-faible de fer titané.

Au chalumeau, ces cendres sont très-distinctement fusibles. On a plus de peine à les agglomérer que celles de la Guadeloupe, et surtout que celles de l'Etna.

Chauffées légèrement ces cendres perdent 6,27 pour 100 d'eau hygrométrique.

Attaquées par l'acide hydrochlorique concentré et reprises par une dissolution potassique, elles se sont partagées en deux parties, 18 pour 100 environ ont été dissous dans l'acide.

La partie dissoute est composée de :

Silice	0,5155 —	0,2678	— 3
Alumine. . . .	0,1523	0,0711	— 1
Oxide de fer . .	0,1302	0,0396	— 1
Chaux.	0,1118	0,0314	
Soude.	0,0622	0,0159	
Perte	0,0280		
	1,0000		

Les cendres examinées au microscope après l'action des acides n'avaient point changé d'aspect. Il en résulte qu'il n'existe pas de différence bien prononcée d'éclat entre les grains solubles dans les acides, et ceux qui ne le sont pas; peut-être aussi le petit nombre des premiers est-il cause qu'on ne les distingue pas.

Les grains insolubles rendus attaquables par leur fusion avec un mélange de céruse et de nitrate de plomb, présentent la composition suivante :

Silice.	0,6429	0,3340	—12
Alumine.	0,2113	0,9868	— 4
Chaux	0,0140	0,0393	— 2
Magnésie.	0,0075	0,0029	
Soude	0,0967	0,0247	— 1
Potasse.	0,0345	0.0029	
	1,0069		

L'examen des analyses, des deux sortes de grains dont se composent les cendres de Cosigüina, nous conduit aux considérations suivantes.

La partie soluble dans les acides contient à la fois de la soude et de la chaux dans des proportions qui se rapprochent assez des proportions caractéristiques du Labrador; mais ces grains renferment en outre une grande quantité d'oxide de fer, qui étant très-probablement au minimum doit être considéré comme isomorphe de la chaux, et dans ce cas les proportions s'éloignent alors beaucoup de la composition du Labrador. Ces grains pourraient donc être considérés comme appartenant à une espèce particulière dont le signe serait $AS^2 + CS$.

Les grains insolubles dans les acides renferment à la fois de la soude et de la potasse comme le Ryacolithe. Dans les cendres de Cosigüina, la soude est de beaucoup le plus abondant des deux alcalis, ce qui est l'inverse dans le Ryacolithe; en outre les rapports atomiques des éléments sont très-différents : ils sont représentés dans ce dernier minéral par le signe $(\dot{N}, \dot{K}) S^3 + 3AS$, tandis que l'analyse des grains insolubles conduit à la formule $4AS^2 + 2CS + (\dot{K}, \dot{N})S^2$.

La composition des différentes cendres qui font le sujet de ce mémoire, ne peut en aucune ma-

nière être rapprochée de celle du feldspath et de l'albite. L'analyse des laves de l'Etna, que M. Laurent a donnée dans les Annales de chimie, et celles des laves du Vésuve que j'ai faites, prouvent également que ces minéraux ne font point partie essentielle des produits de ces deux volcans. Ces exemples m'autorisent à penser que le refroidissement des laves des volcans brûlants et probablement des volcans éteints à cratère, quelque lent qu'il soit, ne développe pas cependant les circonstances nécessaires à la production du feldspath et de l'albite.

MÉMOIRE

Sur le mouvement de l'air dans les tuyaux de conduite ;

Par M. COMBES, ingénieur en chef des mines.

La question qui fait l'objet de ce mémoire a été traitée par M. Navier (1) et par M. d'Aubuisson (2). Aucun de ces auteurs n'a tenu compte de l'action de la gravité, pendant le mouvement de l'air, ce qui est pourtant nécessaire, lorsqu'il s'agit de déterminer la loi du mouvement, dans des conduites verticales, telles que les cheminées ou les puits d'airage. La méthode que nous allons exposer diffère d'ailleurs, sur plusieurs points, de celle suivie par M. Navier, et nous examinons le cas où la température de l'air varie, pendant le mouvement.

1. Nous rappellerons d'abord les lois connuès de l'écoulement de l'air sortant d'un gazomètre, où la pression est entretenue constante, soit par un orifice en mince paroi, soit par un ajutage.

Soit un gazomètre de forme prismatique ABCD (*Pl. V*, *fig.* 3), où la pression est entretenue con-

---

(1) Mémoire sur l'écoulement des fluides élastiques dans les vases et les tuyaux de conduite (Recueil de l'Académie des sciences, t. XI, et Ann. des Mines, 2e série, t. VI, p. 371).

(2) Les belles Recherches théoriques et expérimentales de M. Daubuisson sont réunies dans la deuxième section de son Traité d'hydraulique, p. 502.

stante, pendant que l'air s'écoule par un orifice *ab* en mince paroi, ou par un ajutage d'une petite longueur *abmn*.

J'appelle :

p_0 la pression constante de l'air dans l'intérieur du gazomètre;

Ω l'aire de la section AB, normale à l'axe du gazomètre, et égale à celle d'un piston qui s'enfoncerait à mesure de l'écoulement, de manière à entretenir l'uniformité de tension;

p_1 la pression de l'air extérieur;

q_1 le poids du mètre cube d'air sous la pression p_1;

a l'aire de l'orifice d'écoulement;

v la vitesse de l'air dans le plan de l'orifice d'écoulement;

g la gravité.

J'admets que l'air s'est dilaté progressivement, avant d'arriver à l'orifice, de telle sorte que la pression de l'air sortant est égale à celle de l'air extérieur.

Le volume d'air sorti, dans un instant infiniment petit dt, sera $avdt$. Ce volume se sera dilaté depuis la pression p_0, qui a lieu dans l'intérieur du gazomètre, jusqu'à la pression p_1, et le travail moteur dû à cette dilatation doit être égal à la demi-variation des forces vives de toute la masse d'air, pendant l'instant dt.

L'expression du travail moteur dû à la dilatation du volume d'air $avdt$, depuis la pression p_0 jusqu'à la pression p_1 est : $p_1 avdt \log. \frac{p_0}{p_1}$. La demi-variation des forces vives de toute la masse d'air, se réduit à la différence entre la force vive de la masse d'air qui a franchi, pendant l'instant

dt, le plan de l'orifice, et la force vive d'une masse d'air égale, formant la tranche infiniment mince, contiguë au piston mobile AB. On a, en conséquence, l'équation :

$$p_1 avdt \log. \frac{p_0}{p_1} = q_1 avdt \times \frac{v^2}{2g}\left(1 - \frac{p_1^2 a^2}{p_0^2 \Omega^2}\right).$$

(*Voyez* le mémoire cité de M. Navier, et l'ouvrage sur le calcul des machines, par M. Coriolis.)

De cette équation on tire :

$$\frac{p_1}{q_1} \log. \frac{p_0}{p_1} = \frac{v^2}{2g}\left(1 - \frac{p_1^2 a^2}{p_0^2 \Omega^2}\right);$$

La dépense théorique, pendant une seconde, sera donc exprimée par

$$av = a\sqrt{\frac{2g\frac{p_1}{q_1}\log.\frac{p_0}{p_1}}{1 - \frac{p_1^2 a^2}{p_0^2 \Omega^2}}}$$

Lorsque Ω est très-grand par rapport à a, le dénominateur de la fraction sous le $\sqrt{\ }$ peut être considéré comme égal à 1. D'ailleurs, si p_0 diffère peu de p_1, comme cela a lieu dans beaucoup d'applications, on peut remplacer le logarithme de $\frac{p_0}{p_1}$ par le premier terme de son développement en série, qui est $\frac{p_0 - p_1}{p_1}$, et l'on obtient alors la formule :

$$av = a\sqrt{\frac{2g}{q_1}(p_0 - p_1)}$$

dont on fait ordinairement usage.

Cette formule donne la dépense d'air, sous

la pression extérieure p_1. Les pressions p_0 et p_1 doivent être exprimées en kilogrammes sur l'unité superficielle, qui sera, par exemple, le mètre carré, et q_1 est le poids en kilogrammes du mètre cube d'air, sous la pression p_1.

Les expériences de MM. Lagehrjelm et d'Aubuisson ont fait voir, que l'expression théorique de la dépense n'était pas conforme à la dépense observée directement, et que, pour obtenir la dépense réelle, il fallait multiplier la dépense théorique par un coefficient numérique. La dépense réelle étant donc désignée par Q, on a :

$$Q = \mu a \sqrt{\frac{2g}{q_1}(p_0 - p_1)},$$

lorsque les pressions sont peu différentes, et l'orifice très-petit.

Dans le cas général, cette dépense est déterminée par l'équation :

$$Q = \mu a \sqrt{\frac{\frac{2g p_1}{q_1} \log. \frac{p_0}{p_1}}{1 - \frac{p_1^2 a^2}{p_0^2 \Omega^2}}} \quad (1)$$

(1) Cette dernière formule n'a point été vérifiée par des expériences directes. Elle suppose que le rapport de la dépense théorique à la dépense effective est le même, lorsque l'air n'a qu'une vitesse insensible, dans le vase qui précède l'orifice, et lorsqu'il a, dans ce vase, une vitesse comparable à celle de l'écoulement. Il paraît que cela est à peu près ainsi pour l'écoulement des liquides, et on adopte la même loi pour les fluides élastiques.

μ désignant un coefficient numérique, qui varie avec la nature de l'orifice d'écoulement.

2. Cela posé, nous nous proposons de déterminer les lois du mouvement de l'air, dans une conduite *fig.* 2, *Pl.* dont la section est uniforme, qui s'embranche en *mn* sur un réservoir R (*fig.* 4), où la pression est entretenue constante, dont l'axe a une inclinaison constante sur l'horizon, et qui se termine par une embouchure d'un diamètre moindre que le sien.

Nous pouvons admettre l'hypothèse du mouvement par tranches parallèles de densité et de pression uniformes, dans toute l'étendue de la conduite comprise entre une section AB, faite à une petite distance du réservoir, et une autre section CD, prise à une petite distance en avant de l'orifice d'écoulement.

Le mouvement de l'air étant parvenu à l'état permanent, la pression, la densité et la vitesse de l'air, dans une section quelconque $\alpha\beta$ normale à l'axe du tuyau, seront constantes et indépendantes du temps. Ces éléments varieront d'ailleurs ensemble, d'une section à l'autre de la conduite, et dépendront de la distance de la section que l'on considère à une section fixe, la section AB, par exemple.

Nous désignerons par :

p_0 la tension de l'air dans l'intérieur du réservoir R ;

p_1 la pression sur l'orifice d'écoulement *ab* ;

q_1 le poids du mètre cube d'air sortant par cet orifice ;

v_1 la vitesse de l'air ;

p_0' la pression constante de l'air qui traverse la section AB ;

q'_0 le poids du mètre cube d'air sous cette pression ;

v'_0 la vitesse de l'air dans la même section AB ;

p'_1, q'_1, v'_1 les quantités de même nature que p'_0, q'_0, v'_0, dans la section CD ;

φ, ϖ, ψ les quantités correspondantes, dans la section quelconque $\alpha\beta$ faite entre AB et CD ;

σ la distance mesurée suivant l'axe de la conduite, de la section AB à la section $\alpha\beta$;

L la distance entre les sections AB et CD, formant la longueur totale développée de la conduite ;

Ω l'aire de la section normale à l'axe de la conduite ;

χ le périmètre de cette aire ;

i l'inclinaison constante de l'axe de la conduite ;

a l'aire de l'orifice d'écoulement ;

g la gravité ;

μ le coefficient numérique par lequel il faut multiplier la dépense théorique, pour avoir la dépense réelle par un ajutage cylindrique ;

μ' le coefficient du même genre, pour un orifice d'écoulement, de même forme que celui qui termine la conduite ;

Q la dépense d'air, pendant une seconde, mesurée sous la pression extérieure p_1.

Nous considérerons successivement le mouvement de l'air, 1° depuis le réservoir jusqu'à la section AB ; 2° dans la conduite entre les sections AB et CD ; 3° depuis la section CD jusqu'à l'orifice d'écoulement. Nous négligerons l'influence du frottement et de la gravité, depuis le réservoir jusqu'en AB, et depuis CD jusqu'à l'orifice d'écoulement ; nous tiendrons compte de ces forces

dans l'équation du mouvement entre les sections AB et CD.

Le volume d'air, mesuré sous la pression p'_0, qui traverse, dans l'unité de temps, la section AB, est exprimé, conformément au paragraphe précédent, par :

$$\mu\Omega\sqrt{2g\frac{p'_0}{q'_0}\log.\frac{p_0}{p'_0}};$$

Car le réservoir étant supposé très-grand, on peut négliger la petite vitesse de l'air dans ce réservoir.

Nous remarquerons d'abord que le rapport $\frac{p'_0}{q'_0}$ est constant, quand la température de l'air demeure invariable, comme nous le supposons ici : en conséquence, ce rapport peut être remplacé, dans l'expression précédente, par $\frac{p_1}{q_1}$. D'ailleurs, la permanence du mouvement exige que des quantités d'air égales en poids traversent, dans l'unité de temps, l'orifice d'écoulement et la section AB, comme toute autre section de la conduite. Les volumes, à température égale, étant dans le rapport inverse des pressions, on a l'équation :

$$(1)\quad Q=\frac{p'_0}{p_1}\mu\Omega\sqrt{2g\frac{p_1}{q_1}\log.\frac{p_0}{p'_0}}.$$

L'équation du mouvement de l'air, entre les sections AB et CD, peut être établie, en s'appuyant sur le principe de d'Alembert, ou sur le principe des forces vives. Nous nous servirons de ce dernier, parce qu'il est d'un usage presque

général, dans les applications de la mécanique rationnelle aux machines.

Considérons la colonne d'air comprise entre la section AB et la section quelconque $\alpha\beta$. Pendant l'instant dt, cette colonne se déplace d'une petite quantité dans la conduite, et toutes ses parties se dilatent en s'avançant vers l'orifice d'écoulement. Les forces qui produisent le mouvement sont : les pressions sur les sections extrêmes AB et $\alpha\beta$; les forces intérieures, en vertu desquelles chaque élément du volume d'air se dilate; la gravité, et l'action résistante des parois de la conduite.

La pression p'_0, agissant sur la section AB, donne lieu au travail moteur $p'_0\Omega v'_0 dt$.

La pression φ agissant sur la section $\alpha\beta$, donne lieu au travail résistant $\varphi\Omega\psi dt$. Or, en vertu de ce que des masses d'air égales doivent traverser, dans un même instant, la section AB et la section $\alpha\beta$, on a $p'_0\Omega v'_0 dt = \varphi\Omega\psi dt$. Ainsi les pressions extrêmes se détruisent mutuellement, et n'introduisent aucun terme dans l'équation des forces vives.

Le travail dû à la dilatation infiniment petite de tous les éléments de la masse d'air AB$\alpha\beta$, et à l'action de la gravité, pendant l'instant dt, est le même que si la masse d'air infiniment petite, qui traverse, pendant cet instant, la section $\alpha\beta$, s'était déplacée seule, depuis la section AB jusqu'à la section $\alpha\beta$, et dilatée seule depuis la pression p'_0 qui a lieu en AB, jusqu'à la pression φ qui a lieu en $\alpha\beta$, les autres parties de la masse totale n'ayant subi aucun déplacement, ni changement de pression et de densité (1).

(1) Cette simplification du calcul du travail, dû à la gra-

Or, le volume d'air qui traverse, dans l'instant dt, la section $\alpha\beta$, est $\Omega\psi dt$: son poids est $\varpi\Omega\psi dt$. Le travail résistant dû à l'élévation de ce poids, depuis AB jusqu'en $\alpha\beta$, est $\varpi\Omega\psi dt$ sin. $i\sigma$. Le travail moteur dû à la dilatation de cette masse de gaz, depuis la pression p'_0 jusqu'à la pression φ, est $\varphi\Omega\psi dt \log. \frac{p'_0}{\varphi}$.

Nous admettrons que l'action résistante des parois, sur une tranche élémentaire $\Omega d\sigma$ de la colonne d'air en mouvement, est proportionnelle à la densité de l'air contenu dans cette tranche, à l'étendue superficielle par laquelle cette tranche touche la paroi, et au carré de la vitesse. Ainsi pour la tranche $\Omega d\sigma$, qui se meut avec une vitesse ψ, et qui pèse ϖ sous l'unité de volume, la résistance des parois sera exprimée par $\beta \frac{\varpi}{g} \chi\psi^2 d\sigma$, β étant un coefficient numérique que l'expérience doit déterminer. Cette résistance donne lieu, dans l'instant dt, au travail résistant :

$$\beta \frac{\varpi}{g} \chi\psi^2 d\sigma \times \psi dt.$$

L'action des parois, sur l'ensemble de toutes les tranches élémentaires qui composent la colonne AB$\alpha\beta$, donne donc lieu, pendant l'instant dt, au travail résistant exprimé par l'intégrale :

---

vité et aux actions intérieures, dans le cas du mouvement permanent des liquides ou des fluides élastiques, est facile à démontrer ; elle se trouve établie dans l'ouvrage *sur le Calcul des Machines*, par M. Coriolis, pages 39 et 144.

$$\int_0^\sigma \beta \frac{\varpi}{g} \chi\psi dt \psi' d\sigma.$$

Or, la permanence du mouvement exige que le produit $\varpi\Omega\psi dt$ soit constant, dans toutes les sections du tuyau, et par suite indépendant de σ. Il en est de même du produit $\varpi\chi\psi dt$, puisque Ω et χ sont constants par hypothèse. Nous pouvons donc, en extrayant de sous le signe $\int$ toute la partie qui ne varie pas avec σ, mettre l'expression du travail résistant dû à l'action des parois sous la forme

$$\beta \frac{\varpi}{g} \chi\psi dt \int_0^\sigma \psi' d\sigma.$$

La demi-variation des forces vives de toute la masse d'air, considérée pendant l'instant dt, se réduit à la demi-différence entre la force vive que possède, à la fin de l'instant dt, la masse d'air qui vient de traverser la section $\alpha\beta$, et la force vive que possédait, au commencement de cet instant, une masse d'air égale qui touchait la section AB. Ainsi la demi-variation des forces vives est :

$$\frac{\varpi\Omega\psi dt}{2g}(\psi^2 - \nu'^2_0).$$

Egalant cette demi-différence de forces vives au travail développé par les forces que nous avons énumérées ,nous avons l'équation :

$$\varphi\Omega\psi dt \log.\frac{p'_\circ}{\varphi} - \varpi\Omega\psi dt \sin. i\sigma - \frac{6}{g}\varpi\chi\psi dt\int_0^\sigma \psi^2 d\sigma$$
$$= \frac{\varpi\Omega\psi dt}{2g}(\psi^2 - \nu'^2_\circ).$$

Laquelle, divisée par $\varpi\Omega\psi dt$, devient :

$$\frac{\varphi}{\varpi}\log.\frac{p'_\circ}{\varphi} - \sin. i\sigma - \frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega}\int_0^\sigma \psi^2 d\sigma = \frac{\psi^2 - \nu'^2_\circ}{2g}.$$

Le rapport $\frac{\varphi}{\varpi}$ est constant, et peut être remplacé par $\frac{p_1}{q_1}$. φ et ψ étant d'ailleurs des fonctions de la seule variable indépendante σ, si nous différencions l'équation précédente, nous avons :

$$-\frac{p_1}{q_1}\frac{d\varphi}{\varphi} - \sin. id\sigma - \frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega}\psi^2 d\sigma = \frac{\psi d\psi}{g}.$$

De la relation $\varphi\psi = p'_\circ\nu'_\circ$, on tire :

$$\psi = \frac{p'_\circ\nu'_\circ}{\varphi},\quad \psi^2 = \frac{p'^2_\circ\nu'^2_\circ}{\varphi^2},\quad \psi d\psi = -\frac{p'^2_\circ\nu'^2_\circ d\varphi}{\varphi^3}$$

Substituant les valeurs de ψ^2 et de $\psi d\psi$ dans l'équation ci-dessus, nous obtiendrons une équation différentielle, ne renfermant plus que φ et σ, qui pourra servir à déterminer φ en fonction de σ.

Avant de faire cette substitution, j'observe que l'on doit avoir $\Omega p'_\circ\nu'_\circ = ap_1\nu_1 = p_1 Q$; ainsi $p'_\circ\nu'_\circ$ peut être remplacé, dans les relations précédentes, par $p_1\frac{Q}{\Omega}$.

Effectuant la double substitution, il vient, après

avoir changé tous les signes de l'équation, et avoir multiplié tous ses termes par φ^2 :

$$\frac{p_1}{q_1}\varphi d\varphi + \sin. i\varphi^2 d\sigma + \frac{\epsilon}{g}\frac{\chi}{\Omega}p_1^2\frac{Q^2}{\Omega^2}d\sigma = \frac{p_1^2}{g}\frac{Q^2}{\Omega^2}\frac{d\varphi}{\varphi}.$$

Prenant dans cette équation la valeur de $d\sigma$, les variables sont séparées, et l'intégration donne immédiatement une relation algébrique entre σ et φ. Le résultat de l'intégration est .

$$\sigma = \frac{\Omega}{\epsilon\chi}\log.\varphi - \frac{1}{2}\left(\frac{\Omega}{\epsilon\chi} + \frac{p_1}{q_1 \sin. i}\right)\log.\left(\sin. i\varphi^2 + \frac{\epsilon}{g}\frac{\chi}{\Omega}p_1^2\frac{Q^2}{\Omega^2}\right) + C$$

Nous déterminerons la constante C, en observant que pour $\sigma = 0$, on a : $\varphi = p'_0$, ce qui donne :

$$(a)\ \sigma = \frac{\Omega}{\epsilon\chi}\log.\frac{\varphi}{p'_0} - \frac{1}{2}\left(\frac{\Omega}{\epsilon\chi} + \frac{p_1}{q_1 \sin. i}\right)\log.\frac{\sin. i\varphi^2 + \frac{\epsilon}{g}\frac{\chi}{\Omega}p_1^2\frac{Q^2}{\Omega^2}}{\sin. ip'^2_0 + \frac{\epsilon}{g}\frac{\chi}{\Omega}p_1^2\frac{Q^2}{\Omega^2}}$$

Substituant, dans cette équation, à φ et à σ les valeurs p'_1 et L relatives à la dernière section CD de la conduite, il vient :

$$(2)\ L = \frac{\Omega}{\epsilon\chi}\log.\frac{p'_1}{p'_0} - \frac{1}{2}\left(\frac{\Omega}{\epsilon\chi} + \frac{p_1}{q_1 \sin. i}\right)\log.\frac{\sin. ip'^2_1 + \frac{\epsilon}{g}\frac{\chi}{\Omega}p_1^2\frac{Q^2}{\Omega^2}}{\sin. ip'^2_0 + \frac{\epsilon}{g}\frac{\chi}{\Omega}p_1^2\frac{Q^2}{\Omega^2}}$$

Nous obtiendrons enfin une dernière équation pour le mouvement de l'air, depuis la section CD jusqu'à l'orifice d'écoulement *ab*. Cette équation est :

$$(3)\quad Q = \mu' a\sqrt{\frac{2g\frac{p_1}{q_1}\log.\frac{p'_1}{p_1}}{1 - \frac{p_1^2}{p'^2_1}\frac{a^2}{\Omega^2}}}$$

Les équations (1), (2) et (3) peuvent servir à déterminer la dépense d'air Q, ainsi que les pressions p'_0 et p'_1 dans les sections AB et CD, voisines du réservoir et de l'orifice d'écoulement. Il suffira pour cela que l'on connaisse les coefficients numériques 6, μ et μ', les pressions p_0 et p_1 dans le réservoir, et sur l'orifice d'écoulement, et le rapport $\frac{p_1}{q_1}$ de la pression au poids du mètre cube d'air. Ce rapport dépend de la température. En supposant qu'on ait déterminé les trois inconnues Q, p'_0 et p'_1, l'équation (a) fera connaître la pression φ qui a lieu en un point quelconque de la conduite.

J'arrive aux équations simultanées (1), (2) et (3), sans faire aucune hypothèse particulière sur la nature des causes, qui occasionnent la diminution de dépense de l'air, s'écoulant par un orifice ou un ajutage de forme déterminée, et sans avoir besoin de substituer, comme le fait M. Navier, une expression approchée à la place de la pression φ, dans l'équation du mouvement de l'air entre les sections AB et CD. La résolution de ces équations n'est possible que par tâtonnement. On arrivera cependant à une valeur algébrique approchée de Q, en fonction de p_0 et de p_1, lorsque les pressions p_0, p_1, et par suite les pressions p'_0 et p'_1 seront peu différentes entre elles, comme cela a lieu dans la plupart des applications (1).

On pourra alors écrire : $p_0 = p_1(1+\pi)$

$$p'_0 = p_1(1+\alpha)$$

$$p'_1 = p_1(1+\alpha')$$

(1) Le reste de cette analyse est semblable à celle dont M. Navier a fait usage, dans le mémoire cité.

π, α et α' étant des fractions très-petites, dont il sera permis de négliger le carré et les puissances supérieures.

A ce degré d'approximation, l'équation (1) devient, en élevant les deux membres au carré :

$$Q^2 = 2g\mu^2\Omega^2(1+2\alpha)\frac{p_1}{q_1}(\pi-\alpha), \text{ ou}$$

$$Q^2 = 2\mu^2 g\Omega^2\frac{p_1}{q_1}(\pi-\alpha) \qquad (l)$$

L'équation (2) devient :

$$L = \frac{\Omega}{6\chi}(\alpha'-\alpha) - \frac{1}{2}\left(\frac{\Omega}{6\chi} + \frac{p_1}{q_1 \sin. i}\right)\frac{2(\alpha'-\alpha)\sin. i}{\sin. i + \frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega}\frac{Q^2}{\Omega^2}}$$

et toute réduction faite, on a, en ayant égard à l'équation (l) :

$$L = (\alpha-\alpha')\frac{p_1}{q_1\left(\sin. i + \frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega}\frac{Q^2}{\Omega^2}\right)} \qquad (m)$$

Enfin l'équation (3) devient :

$$Q^2 = \frac{2g\mu'^2 a^2 \frac{p_1}{q_1}}{1-\frac{a^2}{\Omega^2}}\alpha' \qquad (n)$$

Les trois équations (l), (m), (n) ne contiennent maintenant les inconnues α et α' qu'au premier degré.

Des deux premières on tire :

$$\alpha' = \pi - \frac{q_1}{p_1}\left(L \sin. i + \frac{Q^2}{2\mu^2 g\Omega^2} + \frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega}L\frac{Q^2}{\Omega^2}\right)$$

La substitution de cette valeur dans l'équation (n) fournit la valeur suivante de Q :

$$Q = \sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_1}{q_1}\pi - L \sin. i\right)}{\frac{1}{\mu'^2 a^2} - \frac{1}{\mu'^2 \Omega^2} + \frac{1}{\mu^2 \Omega^2} + \frac{2}{\Omega^2} 6 \frac{\chi}{\Omega} L}}.$$

ou en remplaçant π par sa valeur $\frac{p_0 - p_1}{p_1}$,

$$\text{(A)} \qquad Q = \sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_0 - p_1}{q_1} - L \sin. i\right)}{\frac{1}{\mu'^2 a^2} - \frac{1}{\mu'^2 \Omega^2} + \frac{1}{\mu^2 \Omega^2} + \frac{2}{\Omega^2} 6 \frac{\chi}{\Omega} L}}$$

Dans cette formule, L sin. i est la distance verticale de la section AB à la section CD; car i représente l'inclinaison, supposée constante, de l'axe de la conduite, sur le plan horizontal.

Représentons par h_0 la hauteur d'une colonne verticale de fluide, supposé incompressible et de densité égale à celle de l'air qui traverse l'orifice ab de la conduite, capable d'exercer sur sa base la pression p_0 qui a lieu dans le réservoir;

Par h_1 la hauteur d'une colonne verticale de fluide semblable, capable d'exercer sur sa base la pression p_1.

On aura évidemment: $p_0 = q_1 h_0$, $p_1 = q_1 h_1$, et $\frac{p_0 - p_1}{q_1} = h_0 - h_1$.

Désignons aussi par H la différence de niveau entre l'orifice d'écoulement et l'origine de la conduite, nous aurons L sin. i = H.

La valeur (A) de Q pourra donc se mettre sous la forme:

$$Q = \sqrt{\frac{2g(h_0 - h_1 - H)}{\frac{1}{\mu''a^2} - \frac{1}{\mu''\Omega^2} + \frac{1}{\mu^2\Omega^2} + \frac{2}{\Omega^2}6\frac{\chi}{\Omega}L}}$$

Cette équation est précisément celle à laquelle on est conduit, en cherchant à déterminer le mouvement d'un fluide incompressible, de même densité que l'air qui sort par l'orifice de la conduite, dans la supposition que l'action résistante des parois de la conduite est proportionnelle à la densité et au carré de la vitesse, ainsi que nous l'avons admis pour le fluide élastique; de sorte que l'approximation dont nous avons fait usage, pour arriver à une valeur algébrique de Q, revient à supposer que le fluide en mouvement est incompressible, et de même densité que l'air extérieur, densité à laquelle il arrive, dans le plan de l'orifice de la conduite. Or, dans le cas d'un fluide incompressible, la dépense demeure la même, pourvu que $h_0 - h_1$—H demeure constant, quelles que soient d'ailleurs les sinuosités de la conduite, en supposant toutefois qu'elle ne présente ni des coudes brusques, ni des courbes d'un trop petit rayon, dont la présence donnerait lieu à des résistances analogues à celles qui se développent, au passage du liquide à travers un étranglement. Ainsi, au degré d'approximation auquel nous nous sommes arrêtés, la formule (A) donnera la dépense d'une conduite quelconque, dont l'inclinaison pourra varier d'un point à l'autre, ou qui serait composée de plusieurs parties d'inclinaisons différentes, réunies par des parties courbes. Il suffira pour cela d'y remplacer L sin. *i* par la distance verticale de l'origine à l'ex-

trémité ouverte de la conduite, prise avec le signe + ou —, suivant que l'orifice ouvert sera à un niveau plus élevé, ou plus bas que l'origine de la conduite. La formule sera :

$$Q=\sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_0-p_1}{q_1}\mp H\right)}{\frac{1}{\mu'^2a^2}-\frac{1}{\mu'^2\Omega^2}+\frac{1}{\mu^2\Omega^2}+\frac{2}{\Omega^2}6\frac{\chi}{\Omega}L}}$$

L désignera toujours la longueur développée de l'axe de la conduite.

On pourra adopter, pour la valeur du coefficient μ, celle qui, d'après les expériences de M. d'Aubuisson (Traité d'hydraulique, p. 495 à 497), se rapporte aux ajutages cylindriques, et qui est égale à 0,93. On fera $\mu'=0,65$, si la conduite se termine par un orifice percé dans une paroi mince; et $\mu'=0,94$, si, comme cela a lieu généralement dans les usines, elle se termine par une buse conique peu convergente. La petite différence de valeur entre μ et μ', dans ce dernier cas, fait voir qu'il sera toujours permis de regarder comme nulle la différence $\frac{1}{\mu'^2\Omega^2}-\frac{1}{\mu^2\Omega^2}$ qui se trouve au dénominateur de la valeur sous le radical, et de prendre simplement :

$$Q=\sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_0-p_1}{q_1}\mp H\right)}{\frac{1}{\mu'^2a^2}+\frac{2}{\Omega^2}6\frac{\chi}{\Omega}L}}.$$

pour une conduite circulaire, dont le diamètre serait représenté par D, on a :

$$\frac{\chi}{\Omega}=\frac{4}{D},\ \Omega^2=\frac{\pi^2D^4}{16}$$

Si l'orifice est circulaire, et si son diamètre est représenté par d, on a : $a^2 = \frac{\pi^2 d^4}{16}$,

$$Q = \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_0 - p_1}{q_1} \mp H\right)}{\frac{1}{\mu'^2 d^4} + \frac{86L}{D^5}}}.$$

$$\frac{\pi}{4} = \frac{3.1416}{4} = 0,7854.$$

Si la conduite est entièrement ouverte, les termes $\frac{1}{\mu'^2 a^2} - \frac{1}{\mu'^2 \Omega^2}$ se détruisent, et la valeur de Q devient :

$$Q = \frac{\pi D^2}{4}\sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_0 - p_1}{q_1} \mp H\right)}{\frac{1}{\mu^2} + 8\frac{6L}{D}}}.$$

La moyenne des expériences de M. d'Aubuisson lui a donné pour 86 la valeur 0,0238, d'où l'on conclut 6=0,0030. M. Navier, dans son Mémoire sur l'écoulement des fluides élastiques, après avoir discuté les expériences de M. Girard, et celles de M. d'Aubuisson, fixe la valeur du même coefficent à 0.00324.

Dans certains cas, on pourra négliger H au numérateur, et $\frac{1}{\mu^2}$ au dénominateur de la fraction, sous le signe $\sqrt{\ }$; mais cela n'est pas toujours permis.

Si la conduite se composait de plusieurs parties de diamètres inégaux, ou de parties séparées

l'une de l'autre par des diaphragmes, on résoudrait la question, en établissant l'équation du mouvement de l'air, pour chaque partie de la conduite d'un diamètre uniforme, ou pour chaque partie comprise entre deux diaphragmes. On aurait ainsi autant d'équations simultanées qu'il y aurait de parties de diamètres différents, ou de parties séparées par des diaphragmes. Ces équations permettraient d'éliminer les inconnues auxiliaires, et d'arriver à une valeur algébrique approchée de la dépense Q, dans le cas où les pressions dans le réservoir, et toute l'étendue de la conduite, différeraient assez peu entre elles, pour que l'on pût négliger le carré, les puissances supérieures et les produits mutuels des quantités de la forme $\frac{\varphi - p_{,}}{p_{,}}$, expression dans laquelle φ désigne la pression en un point quelconque du système, et $p_{,}$ la pression de l'air extérieur sur l'orifice d'écoulement. Cela revient, ainsi que nous l'avons vu, à assimiler l'air à un fluide incompressible, de densité égale à celle de l'air, qui traverse l'orifice d'écoulement.

3. Supposons actuellement que la température de l'air, dans le parcours d'une conduite d'un diamètre uniforme, s'élève progressivement par une addition de chaleur, fournie par un foyer que la conduite traverse. C'est ce qui a lieu dans la plupart des souffleries au vent chaud, dont l'usage se répand beaucoup dans les usines à fer. Il est donc utile de rechercher, quelle est, dans ce cas, la dépense d'air, pour une pression déterminée dans le réservoir, et un certain accroissement de température.

Une conduite contenue dans un plan ho-

rizontal (*fig.* 5) s'embranche en *mn* sur un réservoir, dans lequel la pression est entretenue constante par le jeu des machines soufflantes. L'air parvient dans cette conduite jusqu'en CD, en conservant la température qu'il a dans le réservoir. Il s'échauffe progressivement, en parcourant la partie de la conduite comprise entre les sections CD et EF; puis il arrive à l'orifice d'écoulement en conservant la température qu'il a acquise à son arrivée en EF.

Nous appellerons : t la température de l'air dans le réservoir et jusques en CD, exprimée en degrés centigrades;

T la température acquise par l'air, lorsqu'il est parvenu en EF;

p' la force élastique de l'air à t^d, qui arrive dans la section CD;

q' le poids du mètre cube de cet air;

p'' la force élastique de l'air à la température T, qui traverse la section EF;

q'' le poids du mètre cube de cet air;

Q' le volume d'air à la température t, et sous la pression p', qui traverse, dans une seconde, la section CD.

Nous conserverons d'ailleurs les notations, dont nous nous sommes déjà servis, pour désigner les tensions de l'air dans le réservoir, dans la section AB voisine du réservoir, dans la section IK voisine de l'orifice, et dans le plan de l'orifice même. Nous désignerons toujours par Q le volume d'air sortant par cet orifice, volume qui est ici mesuré sous la pression extérieure p_1, et à la température T de l'air sortant.

Nous désignerons par L' la longueur de la conduite entre les sections AB et CD;

L'' la longueur, entre CD et EF, de la partie exposée à l'action du foyer;

L''' la longueur de la partie, entre EF et IK, parcourue par l'air chaud.

Enfin nous ferons :

	$p_0 = p_1(1+\pi)$,	force élastique de l'air dans le réservoir;		
	$p'_0 = p_1(1+\alpha)$,	*id.*	de l'air dans la section AB;	
K)	$p' = p_1(1+\alpha')$,	*id.*	*id.*	dans la section CD;
	$p'' = p_1(1+\alpha'')$,	*id.*	*id.*	dans la section EF;
	$p'_1 = p_1(1+\alpha''')$,	*id.*	*id.*	dans la section IK;
	p_1	force élastique de l'air sortant par l'orifice *ab*.		

On obtiendra d'abord, sans difficulté, les deux équations approchées, qui se rapportent au mouvement de l'air froid, depuis le réservoir jusqu'en AB, et depuis AB jusqu'en CD. Ces équations sont :

$$Q'^2 = 2\mu^2 g\Omega^2 \frac{p'}{q'}(\pi - \alpha) \qquad (1)$$

$$L' = (\alpha - \alpha') \frac{p'}{q' \frac{6}{g} \cdot \frac{\chi}{\Omega} \frac{Q'^2}{\Omega^2}} \qquad (2)$$

Quant à l'équation du mouvement de l'air dans la partie de la conduite, entre CD et EF, il faut avoir égard à la variation de la température.

Désignons par θ la température de l'air qui traverse une section quelconque $\alpha6$, intermédiaire entre CD et EF.

φ la tension de cet air;

ϖ le poids du mètre cube;

ψ la vitesse en $\alpha6$;

σ la distance de la section $\alpha6$ à la section CD.

v' la vitesse de l'air qui traverse la section CD.

Nous appliquerons le principe des forces vives

au déplacement, pendant l'instant dt, de la masse d'air comprise, à l'origine de cet instant, entre les sections CD et $\alpha\beta$.

Nous avons dit (§ 1) que, si v désigne le volume variable d'une masse de fluide élastique, p la tension correspondante au volume v, le travail moteur dû à la dilatation de la masse d'air depuis le volume v_0 jusqu'au volume v_1, est exprimé par l'intégrale :

$$\int_{v_0}^{v_1} p dv$$

Si d'ailleurs p_0 et p_1 désignent les tensions correspondantes respectivement aux volumes v_0 et v_1, l'intégration par parties, donne :

$$\int_{v_0}^{v_1} p dv = p_1 v_1 - p_0 v_0 - \int_{p_0}^{p_1} v dp$$

En employant cette dernière expression du travail moteur dû à la dilatation de l'air, le principe des forces vives nous fournit, sans difficulté, et moyennant les simplifications détaillées § 2, l'équation suivante :

$$-\int_{p'}^{\varphi} \Omega\psi dt d\varphi - \varpi\Omega\psi dt \frac{\beta}{g} \frac{\chi}{\Omega} \int_{0}^{\sigma} \psi^2 d\sigma = \frac{\varpi\Omega\psi dt}{2g}(\psi^2 - v'^2) \qquad (m)$$

(Les termes de l'équation, introduits par l'action des pressions extrêmes sur les sections CD et $\alpha\beta$, sont détruits par ceux égaux, et de signes contraires, que l'intégration, par parties, met en dehors du signe $\int$.)

Des masses d'air égales devant passer, dans un

même instant, par une section quelconque du tuyau, le produit $\varpi\Omega\psi dt$ est constant, et indépendant de σ, comme aussi de φ, qui est une fonction de σ seul. On a, en conséquence :

$$\int_{p'}^{\varphi} \Omega\psi dt\, d\varphi = \varpi\Omega\psi dt \int_{p'}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\varpi}$$

En ayant égard à cette dernière relation, tous les termes de l'équation (m) deviennent divisibles par $\varpi\Omega\psi dt$, et cette équation se réduit à :

$$-\int_{p'}^{\varphi} \frac{d\varphi}{\varpi} - \frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega}\int_{0}^{\sigma} \psi^2 d\sigma = \frac{\psi^2 - v'^2}{2g}$$

La différentiation, par rapport à la variable indépendante σ, donne :

$$-\frac{d\varphi}{\varpi} - \frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega}\psi^2 d\sigma = \frac{\psi d\psi}{g}$$

Divisant tous les termes par ψ^2, il vient :

$$-\frac{d\varphi}{\varpi\psi^2} - \frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega} d\sigma = \frac{1}{g}\frac{d\psi}{\psi}$$

En vertu de la permanence du mouvement, et de l'uniformité supposée de la température dans chaque section de la conduite, on a :

$$\varpi\psi = q'v'$$

$$\psi = v'\frac{p'}{\varphi}\,\frac{1+0{,}00375\theta}{1+0.00375t}$$

d'où : $$\varpi\psi^2 = p'q'v'^2\frac{1+0{,}00375\theta}{\varphi(1+0{,}00375t)}$$

Cette valeur de $\varpi\psi^2$, portée dans l'équation différentielle ci-dessus, donne :

$$-\frac{\varphi d\varphi}{1+0{,}00375\theta}=\frac{p'q'v'^2}{g(1+0{,}00375t)}\left(6\frac{\chi}{\Omega}d\sigma+\frac{d\psi}{\psi}\right)$$

et en intégrant entre les limites $\sigma=0$ et $\sigma=L''$, auxquelles correspondent les valeurs respectives :

$\varphi=p'$ et $\varphi=p''$,
$\psi=v'$ et $\psi=v''$,

il vient :

$$-\int_{p'}^{p''}\frac{\varphi d\varphi}{1+0{,}00375\theta}=\frac{p'q'v'^2}{g(1+0{,}00375t)}\left(6\frac{\chi}{\Omega}L''+\log.\frac{v''}{v'}\right) \qquad (n)$$

L'intégration, indiquée dans le premier membre de cette dernière équation, exigerait que la température variable θ fût exprimée en fonction de φ. Or, nous ne connaissons pas la relation existante entre θ et φ. Nous savons seulement que θ varie de t à T°, tandis que φ varie depuis p' jusqu'à p''. Il est évident, d'après cela, que la valeur exacte de l'intégrale $\int_{p'}^{p''}\frac{\varphi d\varphi}{1+0{,}00375\theta}$ est égale à $\frac{1}{1+0{,}00375\tau}\int_{p'}^{p''}\varphi d\varphi$, τ désignant une certaine valeur comprise entre t et T, laquelle ne peut être déterminée exactement, tant que l'on ne connaît pas la relation qui lie les variables θ et φ.

D'ailleurs $\int_{p'}^{p''}\varphi d\varphi=\frac{p''^2-p'^2}{2}$;

ainsi l'équation (n) peut être remplacée par la suivante :

$$\frac{p'^2 - p''^2}{1+0{,}00375\tau} = \frac{2p'q'v'^2}{g(1+0{,}00375\,t)}\left(6\frac{\chi}{\Omega}\mathrm{L}'' + \log.\frac{v''}{v'}\right).$$

Mais on doit avoir en vertu de ce que des masses d'air égales traversent, dans l'unité de temps, les sections CD et EF de la conduite :

$$\frac{v''}{v'} = \frac{p'}{p''}\,\frac{1+0{,}00375\,\mathrm{T}}{1+0{,}00375\,t},$$

nous ferons pour abréger : $\frac{1+0{,}00375\,\mathrm{T}}{1+0{,}00375\,t} = \Delta$,

$\frac{1+0{,}00375\,\tau}{1+0{,}00375\,t} = \delta$, δ étant un nombre compris entre 1 et Δ ;

L'équation ci-dessus peut alors se mettre sous la forme :

$$p'^2 - p''^2 = \delta\frac{2p'q'v'^2}{g}\left(6\frac{\chi}{\Omega}\mathrm{L}'' + \log.\Delta + \log.\frac{p'}{p''}\right).$$

Il n'est pas difficile, en ayant égard aux équations (K), observant que $v'^2 = \frac{Q'^2}{\Omega^2}$, et négligeant les termes qui contiennent le carré, ou les produits mutuels des quantités α' et α'', de remplacer l'équation précédente par l'équation approchée :

$$(\alpha' - \alpha'') = \frac{\delta}{g}\,\frac{q'}{p'}\,\frac{Q'^2}{\Omega^2}\left(6\frac{\chi}{\Omega}\mathrm{L}'' + \log.\Delta\right). \qquad (3)$$

(Log. Δ est un logarithme hyperbolique.)

Il nous reste maintenant à établir l'équation du mouvement de l'air chaud, dont la tempéra-

ture est supposée constante, d'abord depuis EF jusqu'en IK, puis de IK à l'orifice d'écoulement.

Ces équations sont au degré d'approximation auquel nous nous arrêtons :

$$L''' = (\alpha'' - \alpha''') \frac{p_1}{q_1 \frac{6}{g} \frac{\chi}{\Omega} \frac{Q^2}{\Omega^2}}, \qquad (4)$$

$$Q^2 = \frac{2\mu'^2 g a^2 \frac{p_1}{q_1} \alpha''}{1 - \frac{a^2}{\Omega^2}} \qquad (5)$$

Pour tirer la valeur de Q des équations simultanées (1), (2), (3), (4) et (5), il faut d'abord remplacer Q′ par sa valeur en fonction de Q. On a

$$Q' = Q \frac{p_1}{p'} \frac{1+0,00375t}{1+0,00375T} = \frac{Q}{(1+\alpha')\Delta} = \frac{Q}{\Delta}(1-\alpha').$$

La substitution de cette valeur de Q′ dans les équations (1), (2), (3) donne, en négligeant toujours le carré et les puissances supérieures de α, α' et α'' :

$$\pi - \alpha = \frac{q'}{2\mu'^2 g p'} \frac{Q^2}{\Delta^2 \Omega^2} \qquad (1)$$

$$\alpha - \alpha' = \frac{q'}{p'} \frac{6}{g} \frac{\chi}{\Omega} L' \frac{Q^2}{\Delta^2 \Omega^2} \qquad (2)$$

$$\alpha' - \alpha'' = \frac{q'}{p'} \delta \left(\frac{6}{g} \frac{\chi}{\Omega} L'' + \frac{\log. \Delta}{g} \right) \frac{Q^2}{\Delta^2 \Omega^2} \qquad (3)$$

De l'équation (4) on tire :

$$\alpha'' - \alpha''' = \frac{q_1}{p_1} \frac{6}{g} \frac{\chi}{\Omega} L''' \frac{Q^2}{\Omega^2}; \qquad (4)$$

Ajoutant membre à membre ces quatre équations, et observant que $\frac{q'}{p'} = \Delta \frac{q_1}{p_1}$, il vient :

$$\pi - \alpha''' = \frac{q_1}{gp_1} \frac{Q^2}{\Omega^2} \left[\frac{1}{2\mu^2\Delta} + 6\frac{\chi}{\Omega}\left(\frac{L'}{\Delta} + \frac{\delta L''}{\Delta} + L'''\right) + \frac{\delta \log.\Delta}{\Delta} \right].$$

Portant la valeur de α''', tirée de l'équation ci-dessus dans l'équation (5), celle-ci fournit la valeur de Q, laquelle, après avoir remplacé π par sa valeur $\frac{p_0 - p_1}{p_1}$, est

$$Q = \sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_0 - p_1}{q_1}\right)}{\frac{1}{\mu'^2 a^2} - \frac{1}{\mu'^2\Omega^2} + \frac{1}{\Delta\mu^2\Omega^2} + 26\frac{\chi}{\Omega}\frac{L' + \delta L'' + \Delta L'''}{\Delta\Omega^2} + \frac{2\delta \log.\Delta}{\Delta\Omega^2}}}$$

Cette formule coïncide avec celle que nous avons obtenue dans le cas de la température constante, lorsque l'on y suppose $\Delta = \delta = 1$.

Elle contient une quantité δ que nous n'avons pas pu déterminer, mais que nous savons être comprise entre 1 et Δ. Nous aurons, en conséquence, un minimum de la dépense Q, qui correspond aux pressions déterminées p_0 et p_1, si nous remplaçons, dans la formule, δ par la valeur nécessairement plus grande Δ, puisque cette quantité δ ne multiplie que certains termes du dénominateur de l'expression sous le signe $\sqrt{}$. La formule obtenue ainsi, qui donnera toujours une valeur trop petite, est :

$$\text{(A)} \quad Q = \sqrt{\frac{2g\frac{p_0 - p_1}{q_1}}{\frac{1}{\mu'^2 a^2} - \frac{1}{\mu'^2\Omega^2} + \frac{1}{\Delta\mu^2\Omega^2} + 26\frac{\chi}{\Omega}\left(\frac{L'}{\Delta\Omega^2} + \frac{L'' + L'''}{\Omega^2}\right) + 2\frac{\log.\Delta}{\Omega^2}}}.$$

Le poids d'air sortant, dans l'unité de temps, par l'orifice AB est égal à Qq_1. q_1 est déterminé par l'équation :

$$q_1 = \frac{1.3 \times p_1}{10330(1 + 0,00375\,T)}$$

La vitesse avec laquelle l'air est lancé par l'orifice de la buse est égale à $\frac{Q}{a}$.

4. On peut se demander quel est le rapport, entre les quantités de travail moteur nécessaires, pour lancer, par une même conduite et un même orifice, des quantités d'air égales en poids, à la température t de l'air ambiant, et à une température supérieure T, l'air étant échauffé, dans le parcours, par un foyer que la conduite traverse.

Supposant d'abord que l'air ne soit point échauffé, et que l'air foulé par la machine soufflante dans le réservoir soit pris par cette machine sous une pression p_1, égale à celle qui a lieu sur l'orifice d'écoulement; le travail moteur correspondant à un volume Q d'air foulé dans le réservoir, et sortant par l'orifice, sera exprimé, abstraction faite des résistances passives de la machine, par le produit :

$$Qp_1 \log. \frac{p_0}{p_1},$$

Et approximativement par :

$$Q\,(p_0 - p_1).$$

L'équation (A) du paragraphe 2 donne, en y faisant sin. $i=o$, puisque nous supposons ici la

conduite horizontale, ou que nous négligeons l'action de la gravité :

$$p_0 - p_1 = \frac{Q^2 q_1}{2g}\left(\frac{1}{\mu'^2 a^2} - \frac{1}{\mu'^2 \Omega^2} + \frac{1}{\mu^2 \Omega^2} + 2\beta \frac{\chi}{\Omega}\frac{L}{\Omega^2}\right);$$

ainsi le travail moteur, correspondant à un volume d'air Q, mesuré sous la pression et à la température de l'air ambiant, est proportionnel à :

$$\text{(H)} \qquad \frac{Q^3 q_1}{2g}\left(\frac{1}{\mu'^2 a^2} - \frac{1}{\mu'^2 \Omega^2} + \frac{1}{\mu^2 \Omega^2} + 2\beta \frac{\chi}{\Omega}\frac{L}{\Omega^2}\right).$$

Si maintenant on suppose que l'air soit échauffé de t à T^d, dans le parcours de la conduite, le travail moteur nécessaire pour lancer le même poids d'air chaud sera exprimé par

$$Q\,(p_0 - p_1), \quad (a).$$

p_0 étant la pression dans l'intérieur du réservoir;

$p_0 - p_1$ doit être donné ici par la formule (A'), en faisant attention que, comme Q, dans l'expression (a) ci-dessus, est le volume en air froid, le volume d'air chaud correspondant, qui sortira par l'orifice sous la même pression, sera égal à :

$$Q \times \frac{1 + 0{,}00375\,T}{1 + 0{,}00375\,t} = \Delta Q.$$

Nous remplacerons donc, dans la formule (A'), Q par ΔQ. Nous remarquerons que q_1, dans cette formule, exprime le poids du mètre cube d'air à la température de T degrés; ainsi, il faudra y remplacer q_1 par $\frac{q_1}{\Delta}$, si nous voulons que le q_1 de la formule représente le poids du mètre cube d'air

à la température t. Moyennant ces substitutions, la valeur de $p_0 - p_1$, tirée de la formule (A′), est :

$$p_0 - p_1 = \frac{\Delta Q^2 q_1}{2g}\left(\frac{1}{\mu'^2 a^2} - \frac{1}{\mu'^2 \Omega^2} + \frac{1}{\Delta \mu^2 \Omega^2} + 2\beta \frac{\chi}{\Omega}\left(\frac{L'}{\Delta \Omega^2} + \frac{L'' + L'''}{\Omega^2}\right) + \frac{2 \log. \Delta}{\Omega^2}\right.$$

et le travail moteur, correspondant à un même volume Q foulé par la machine soufflante dans le réservoir, sera en conséquence :

$$\text{(H}'\text{)} \qquad \frac{\Delta Q^3 q_1}{2g}\left(\frac{1}{\mu'^2 a^2} - \frac{1}{\mu'^2 \Omega^2} + \frac{1}{\Delta \mu^2 \Omega^2} + 2\beta \frac{\chi}{\Omega}\left(\frac{L'}{\Delta \Omega^2} + \frac{L'' + L'''}{\Omega^2}\right) + \frac{2 \log. \Delta}{\Omega^2}\right.$$

Le rapport entre les expressions (H′) et (H) dépend des longueurs respectives L′, et L″+L‴ parcourues dans la conduite par l'air froid et par l'air échauffé, il demeure évidemment toujours inférieur à :

$$\Delta\left(1 + \frac{2 \log. \Delta}{\frac{\Omega^2}{\mu'^2 a^2} - \frac{1}{\mu'^2} + \frac{1}{\mu^2} + 2\beta \frac{\chi}{\Omega} L}\right).$$

Dans les applications, on obtiendra le logarithme hyperbolique de Δ qui entre dans ces formules, en multipliant le logarithme des tables du système décimal par le module 2,3026.

DEUXIÈME MÉMOIRE

Sur le mouvement de l'air, dans les conduites, avec des applications à l'aérage des travaux des mines (1);

Par M. COMBES, Ingénieur en chef des mines.

5. La théorie exposée, dans le paragraphe 3 du 1er Mémoire sur le mouvement de l'air, dans les tuyaux de conduite, trouve une application directe dans l'aérage, ou la ventilation des galeries souterraines. L'ensemble de ces galeries, et des puits qui les mettent en communication avec le jour, forme en effet une longue conduite, composée de plusieurs parties qui peuvent avoir des sections et des inclinaisons différentes, et qui est parcourue par de l'air à température variable. C'est même principalement dans la variation de la température, que résident les causes qui déterminent le courant d'air, lorsque l'aérage se fait naturellement, et lorsque la circulation est déterminée par l'action d'un foyer.

Nous reprendrons d'abord la théorie du paragraphe 3, et nous la généraliserons, en tenant compte de l'action de la gravité que nous avons négligée. Nous avons établi que l'équation du

(1) Ce mémoire faisant suite au précédent, nous avons suivi, d'un mémoire à l'autre, l'ordre des numéros indiquant les paragraphes.

mouvement de l'air, dans une conduite horizontale, dont la section est uniforme, dans toute son étendue, est :

$$-\int_{p'}^{\varphi}\frac{d\varphi}{\varpi}-\frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega}\int_{0}^{\sigma}\psi^2 d\sigma=\frac{\psi^2-v'^2}{2g}.$$

Si la conduite n'était point horizontale, mais inclinée d'un angle constant i sur l'horizon, il est facile de démontrer, par la méthode exposée paragraphe 2, que l'équation du mouvement aurait un terme de plus et serait ·

$$(a)\quad -\int_{p'}^{\varphi}\frac{d\varphi}{\varpi}-\sin. i\sigma-\frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega}\int_{0}^{\sigma}\psi^2 d\sigma=\frac{\psi^2-v'^2}{2g}.$$

(Sin. i est positif ou négatif, suivant que l'axe de la conduite est incliné en dessus, ou en dessous de l'horizon, c'est-à-dire suivant que l'air monte ou descend dans la conduite.)

L'équation (a), différentiée par rapport à σ, dont φ, ϖ et ψ sont des fonctions, lorsque le mouvement est permanent, comme nous le supposons ici, donne :

$$-\frac{d\varphi}{\varpi}-\sin. i\, d\sigma-\frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega}\psi^2 d\sigma=\frac{\psi d\psi}{g},$$

et en divisant tous ses termes par ψ^2 :

$$-\frac{d\varphi}{\varpi\psi^2}-\sin. i\,\frac{d\sigma}{\psi^2}-\frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega}d\sigma=\frac{1}{g}\frac{d\psi}{\psi}.$$

Les relations qui résultent de la permanence du mouvement, et qui ont été établies dans le paragraphe 3, donnent :

$$\varpi\psi^2 = p'q'\nu'^2 \frac{1+0,00375\theta}{\varphi(1+0,00375t')},$$

$$\psi^2 = p'^2 \frac{\nu'^2(1+0,00375\theta)^2}{\varphi^2(1+0,00375t')^2}.$$

(t' étant la température dans la section pour laquelle $\sigma = 0$, et θ la température variable correspondante à une valeur quelconque de σ.)

Ces valeurs portées dans l'équation différentielle ci-dessus, on a :

$$-\frac{\varphi d\varphi}{1+0,00375\theta} - \frac{q'\sin. i(1+0,00375t')}{p'} \frac{\varphi^2}{(1+0,00375\theta)^2} d\sigma$$

$$-\frac{p'q'\nu'^2}{1+0.00375t'} \frac{6}{g} \frac{\chi}{\Omega} d\sigma = \frac{1}{g} \frac{p'q'\nu'^2}{1+0,00375t'} \frac{d\psi}{\psi},$$

et en intégrant entre les limites $\sigma = 0$, $\sigma = \mathrm{L}$, appelant p'' et ν'' les valeurs de φ et ψ correspondantes à $\sigma = \mathrm{L}$, tandis que celles correspondantes à $\sigma = 0$ sont p' et ν', il vient :

$$-\int_{p'}^{p''} \frac{\varphi d\varphi}{1+0,00375\theta} - \frac{q'\sin. i\,(1+0,00375t')}{p'} \int_{0}^{\mathrm{L}} \frac{\varphi^2}{(1+0,00375\theta)^2} d\sigma$$

$$-\frac{p'q'\nu'^2}{1+0,00375t'} \frac{6}{g} \frac{\chi}{\Omega} \mathrm{L} = \frac{1}{g} \frac{p'q'\nu'^2}{1+0,00375t'} \log. \frac{\nu''}{\nu'}.$$

Les intégrations indiquées, dans le premier membre, exigeraient, pour être effectuées, que l'on connût les relations existantes entre les variables φ et θ, et la variable indépendante σ. Dans les applications, cette relation est presque toujours impossible à déterminer; néanmoins on peut arriver à une équation approchée qui suffira le plus souvent.

Ainsi on saura que la température varie de t' à une autre valeur t'', tandis que σ varie de o à L, et φ de p' à p''. Cette variation de température est d'ailleurs toujours dans le même sens, c'est-à-dire que l'air va constamment en s'échauffant, ou constamment en se refroidissant dans la conduite, ou portion de conduite que l'on considère : il en résulte que les valeurs exactes des intégrales qui sont dans le premier membre de l'équation seront :

$$\int_{p'}^{p''} \frac{\varphi d\varphi}{1+0,00375\theta} = \frac{1}{\delta_1(1+0,00375t')} \int_{p'}^{p''} \varphi d\varphi,$$

$$\int_{0}^{L} \frac{\varphi^2}{(1+0,00375\theta)^2} d\sigma = \frac{1}{\nu_1^2(1+0,00375t')^2} \int_{0}^{L} \varphi^2 d\sigma;$$

δ_1 et ν_1 étant deux nombres compris l'un et l'autre entre 1 et $\dfrac{1+0,00375t''}{1+0,00375t'}$, mais qui peuvent être différents l'un de l'autre.

D'ailleurs : $\displaystyle\int_{p'}^{p''} \varphi d\varphi = \frac{p''^2 - p'^2}{2}$.

Quant à l'intégrale $\displaystyle\int_{0}^{\sigma} \varphi^2 \partial\sigma$, on ne sait pas d'avance si la valeur moyenne de φ, entre les limites o et σ, est comprise entre les valeurs extrêmes p' et p''. Car φ ne varie pas toujours dans le même sens : il peut croître d'abord, et décroître

ensuite, ou inversement. Mais si l'on suppose que les pressions extrêmes p' et p'', ainsi que toutes les pressions qui ont lieu dans l'intervalle diffèrent peu entre elles, on pourra poser $\varphi = p'(1+\varepsilon)$, ε étant une quantité variable, positive ou négative, mais toujours petite, dont il sera permis de négliger le carré et les puissances supérieures. Alors on aura : $\varphi^2 = p'^2(1+2\varepsilon)$, et :

$$\int_0^L \varphi^2 d\sigma = p'^2 L + 2\int_0^L \varepsilon d\sigma = p'^2 L(1+2\varepsilon_1),$$

ε_1 étant une quantité inconnue, mais petite, et du même ordre de grandeur que la variable ε.

L'équation différentielle intégrée est donc, après avoir supprimé le dénominateur $1+0{,}00375t'$ commun à tous ses termes :

$$\frac{p'^2-p''^2}{2\delta_1} = \frac{p'q'\sin. i L}{v_1^2}(1+2\varepsilon_1) + p'q'v'^2\frac{6}{g}\frac{\chi}{\Omega}L + \frac{p'q'v'^2}{g}\log.\frac{v''}{v'};$$

$$\text{mais } \frac{v''}{v'} = \frac{1+0{,}00375t''}{1+0{,}00375t'} \times \frac{p'}{p''} = \Delta_1 \frac{p'}{p''},$$

en faisant, pour abréger : $\Delta_1 = \dfrac{1+0{,}00375t''}{1+0{,}00375t'}$.

Ainsi l'équation ci-dessus devient :

$$p'^2 - p''^2 = 2\delta_1 p'q'\left[\frac{L\sin. i}{v_1^2}(1+2\varepsilon_1) + \frac{v'^2}{g}\left(6\frac{\chi}{\Omega}L + \log.\Delta_1 + \log.\frac{p'}{p''}\right)\right].$$

Si l'on pose $p' = p''(1+\alpha_1)$, α_1 étant une petite quantité, et que l'on s'en tienne au degré d'approximation qui nous a permis de déterminer la valeur algébrique de la dépense Q, dans le cas d'une conduite horizontale, on aura :

$\dfrac{p'^2-p''^2}{p'^2} = 2\alpha_1$; $\log.\dfrac{p'}{p''} = \alpha_1$; et l'équation de-

viendra, en divisant ses deux membres par $2p'^2$:

$$(m) \quad \alpha_1 = \delta_1 \frac{q'}{p'} \left[\frac{L \sin. i}{v_1^2} (1 + 2\varepsilon_1) + \frac{v'^2}{g} \left(6 \frac{\chi}{\Omega} L + \log. \Delta_1 + \alpha_1 \right) \right].$$

Or, à ce degré d'approximation, il est permis de négliger, dans le second membre, les termes qui contiennent l'un des facteurs α_1 et ε_1; cela revient à négliger le carré et les produits mutuels de ces quantités par rapport à leur première puissance, ainsi qu'il est aisé de le faire voir, en divisant toute l'équation par son second membre, et développant ensuite le quotient qui vient dans le premier membre. A ce même degré d'approximation, l'équation (m) s'applique aussi à une conduite dont l'inclinaison i ne serait point uniforme, en y remplaçant $L \sin. i$ par la distance verticale entre les deux extrémités de la conduite, et regardant cette distance verticale comme positive ou négative, suivant le signe de $\sin. i$, c'est-à-dire suivant que la dernière section est à un niveau plus élevé, ou plus bas que la première. En effet, en regardant l'angle i comme variable avec σ, $\sin. i$ passe sous le signe $\int$ et l'on a à intégrer $\int_0^\sigma \varphi^2 \sin. i d\sigma$. Or, en appelant dh la projection de $d\sigma$ sur une ligne verticale, on a $\sin. i d\sigma = dh$, et $\int_0^\sigma \varphi^2 \sin. i\, d\sigma = \int_0^H \varphi^2 dh$, intégrale qui revient à $p'^2 H (1 + 2\varepsilon_1)$, expression dans laquelle H remplace $L \sin. i$.

En conséquence de ce qui précède, nous établirons l'équation approchée :

$$\alpha_1 \text{ ou } \frac{p'}{p''} - 1 = \delta_1 \frac{q'}{p'}\left[\frac{H}{\nu_1^2} + \frac{v'^2}{g}\left(6\,\frac{\chi}{\Omega}\,L + \log.\,\Delta_1\right)\right],$$

dans laquelle δ_1 et ν_1 sont deux nombres inconnus, mais compris l'un et l'autre entre 1 et Δ_1.

Ceci est l'équation du mouvement de l'air dans une partie de la conduite dont la section est uniforme. Pour la combiner avec les équations du mouvement, dans les autres parties de la conduite, il est nécessaire de la transformer, et d'y remplacer la vitesse v', par sa valeur en fonction de la vitesse à l'orifice d'écoulement, ou plutôt du débit de la conduite, dans l'unité de temps.

Appelons Q le volume d'air sortant, dans une seconde, par l'orifice d'écoulement qui termine la conduite ; T la température constante de l'air sortant ; q_1 le poids du mètre cube de cet air ; p_1 sa tension, qui sera égale à celle de l'atmosphère, dans laquelle débouche la conduite : nous aurons les relations suivantes :

$$\frac{q'}{p'} = \frac{q_1}{p_1}\,\frac{1+0{,}00375T}{1+0{,}00375\,t'},$$

$$v'^2 = \frac{Q^2}{\Omega^2}\,\frac{(1+0{,}00375t')^2}{(1+0{,}00375T)^2}\,\frac{p_1^2}{p'^2}.$$

Nous aurons, en posant : $p' = p_1(1+\alpha')$; $p'' = p_1(1+\alpha'')$:

$$\frac{p'}{p''} - 1 = \frac{1+\alpha'}{1+\alpha''} - 1 = \alpha' - \alpha'',$$

en négligeant les quantités de l'ordre de grandeur α^2 et $\alpha'\alpha''$.

Enfin faisons pour abréger : $\frac{1+0,00375T}{1+0,00375t'}=\Delta'$,

l'équation ci-dessus transformée sera, en négligeant dans le second membre, les termes multipliés par le facteur $\alpha''-\alpha'$:

$$\alpha'-\alpha''=\delta_1\Delta'\frac{q_1}{p_1}\left[\frac{H}{v_1^2}+\frac{Q^2}{g\Delta'^2\Omega^2}\left(6\frac{\chi}{\Omega}L+\log.\Delta_1\right)\right](1)$$

Si la portion de conduite, à laquelle se rapporte l'équation précédente, forme la première partie de la conduite totale, et reçoit l'air, par son extrémité, d'un réservoir dans lequel la pression est constante, la vitesse insensible, et la température égale à t', nous aurons, en appelant : p_0 la tension constante de l'air dans le gazomètre, μ_0 le coefficient de réduction de la dépense théorique, pour un orifice de même forme que celui qui est à l'origine de la conduite, l'équation suivante :

$$v'^2=2\mu_0^2 g\frac{p'}{q'}\log.\frac{p_0}{p'}.$$

Posant $p_0=p_1(1+\pi)$, nous aurons, en négligeant les termes du développement de $\log.\frac{p_0}{p'}$ qui suivent le premier :

$$\log.\frac{p_0}{p'}=\log.\frac{1+\pi}{1+\alpha'}=\pi-\alpha';$$

remplaçant d'ailleurs v' et $\frac{p'}{q'}$ par leurs valeurs en fonction de Q, p_1 et Δ', l'équation précédente donne, au degré d'approximation indiqué :

$$\pi-\alpha'=\frac{q_1}{p_1}\times\frac{Q^2}{2g\Delta'\mu_0^2\Omega^2}\qquad(2).$$

6. Si la même portion de conduite est suivie d'une autre partie de section différente, il pourra arriver que la section de la conduite qui suit, soit plus petite, ou plus grande, que la section de la conduite qui précède.

1° La conduite suivante ayant une section plus petite, on établira d'abord l'équation du mouvement de l'air à l'entrée de la seconde conduite, en ayant égard à la réduction de dépense due à la forme de l'embouchure, ce qui ne présentera point de difficulté; puis on aura pour l'équation du mouvement, dans la seconde conduite, une équation de même forme que l'équation (1) du paragraphe 5.

Appelons : p''', q''', v''', la tension, le poids du mètre cube, et la vitesse moyenne de l'air, dans la section de la seconde conduite qui suit son embouchure, à une petite distance, suffisante seulement pour que le rapport régulier entre les vitesses des différents filets d'air soit établi ; μ_1 le coefficient de réduction de la dépense qui convient à la forme de l'embouchure; Ω' l'aire de la section de la seconde conduite, qui est, par hypothèse, plus petite que Ω : l'équation du mouvement de l'air dans l'embouchure sera :

$$v'''^2 = \mu_1^2 \frac{2g\dfrac{p'''}{q'''}\log.\dfrac{p''}{p'''}}{1-\dfrac{p'''^2\Omega'^2}{p''^2\Omega^2}} \qquad (x)$$

Si la température de l'air, au passage d'une conduite dans l'autre, demeure constante et égale à t'', on aura : $\dfrac{p'''}{q'''}=\dfrac{p''}{q''}$.

Faisant, pour abréger : $\frac{1+0{,}00375T}{1+0{,}00375t'} = \Delta''$;

posant ensuite : $p''' = p_1(1+\alpha''')$, on aura :

$$v'''^2 = \frac{Q^2}{\Delta'''\Omega'^2}\,\frac{p_1^2}{p'''^2} = \frac{Q^2}{\Delta'''\Omega'^2} \times \frac{1}{(1+\alpha''')^2} :$$

$$\frac{p'''}{q'''} = \frac{p''}{q''} = \frac{p_1}{\Delta'' q_1};\ \frac{p''}{p'''} = \frac{1+\alpha''}{1+\alpha'''}.$$

Portant ces valeurs dans l'équation (x), et s'arrêtant au degré d'approximation adopté, il vient :

$$\alpha'' - \alpha''' = \frac{q_1}{p_1}\,\frac{Q^2}{2g\Delta''}\left(\frac{1}{\mu_1^2\Omega'^2} - \frac{1}{\mu_1^2\Omega^2}\right). \qquad (3)$$

La valeur du coefficient μ_1 dépend de la forme de l'embouchure. Si les deux conduites ont des diamètres peu différents, et si elles sont réunies par une embouchure qui se raccorde bien avec l'une et l'autre, de sorte que la section décroisse d'une manière continue et par degrés insensibles, on pourra prendre $\mu_1 = 1$. Il n'y aura, au passage, aucune réduction de dépense, aucune perte de force vive. Si les deux conduites sont réunies par une embouchure conique, ou simplement mises bout à bout, sans interposition d'embouchure, on pourra faire dans l'un ou l'autre cas, $\mu = 0{,}93$, parce que cette valeur convient en même temps aux ajutages cylindriques et aux ajutages coniques, du moins à de petites différences près qu'il est permis de négliger.

Désignons par L' la longueur développée de la seconde partie de la conduite; par H' la projection de L' sur une ligne verticale ; par p'''', q'''', v'''', la tension, le poids du mètre cube, et la vitesse moyenne de l'air, dans la dernière section de

cette deuxième partie; par t''' la température acquise par l'air, dans le parcours de la longueur L', de sorte que, dans ce parcours, la température varie de t'' à t'''.

Posons, pour abréger : $\frac{1+0,00375t'''}{1+0,00375t''} = \Delta_1$, et désignons par δ_2 et ν_2 deux nombres compris l'un et l'autre entre 1 et Δ_1.

Posons enfin $p'''' = p_1(1 + \alpha'''')$.

L'équation du mouvement de l'air, dans cette partie de la conduite, sera :

$$(4) \qquad \alpha''' - \alpha'''' = \delta_2 \Delta'' \frac{q_1}{p_1}\left[\frac{H'}{\nu_2} + \frac{Q^2}{g\Delta''^2\Omega'^2}\left(\frac{\varepsilon\chi'}{\Omega'} L' + \log.\Delta_1\right)\right].$$

2° Si l'air passe d'une conduite plus étroite dans une conduite plus large, je ne connais aucune expérience qui puisse servir à déterminer la perte de force vive qui a lieu au passage; néanmoins il n'y a pas de doute que, dans certains cas, cette perte est nulle, ou fort petite : dans d'autres, on peut déterminer une limite de cette perte, laquelle, introduite dans les équations du mouvement, fournira une limite inférieure de la dépense. D'abord, si les sections des deux conduites sont très-peu différentes, si elles sont réunies par une embouchure évasée, dans le sens du mouvement, se raccordant bien avec l'une et l'autre, de telle sorte que la section du courant augmente par degrés insensibles, on ne voit pas de motif pour admettre qu'il y ait aucune perte de forces vives. Les rapports entre les vitesses des différents filets, qui traversent une section donnée de l'embouchure, demeureront les mêmes que dans la conduite. La vitesse de l'air, dans chaque

filet, diminuera peu à peu, à mesure qu'il cheminera, de la partie étroite vers la partie large de l'embouchure : en même temps la tension de cet air augmentera, de sorte qu'elle sera plus forte, à l'origine de la seconde partie de la conduite, qu'à l'extrémité de la première. Conservant les notations employées, dans la discussion du premier cas que nous avons examiné, l'équation du mouvement de l'air, dans l'embouchure, sera :

$$v'''^2 = \frac{2g\frac{p'''}{q'''}\log.\frac{p''}{p'''}}{1-\frac{p'''^2\Omega''^2}{p''^2\Omega'^2}} \qquad (x')$$

et en lui faisant subir les mêmes transformations qu'à l'équation (x), qui se rapporte au cas discuté d'abord, nous arriverons à l'équation :

$$(3') \qquad \alpha''-\alpha'''=\frac{q_1}{p_1}\frac{Q^2}{2g\Delta'}\left(\frac{1}{\Omega''^2}-\frac{1}{\Omega'^2}\right),$$

qui est absolument la même que l'équation (3) ci-dessus, lorsqu'on fait dans celle-ci : $\mu_1=1$.

Remarquons que, comme Ω' est $>\Omega$, les membres de l'équation (3') sont l'un et l'autre négatifs, et qu'ainsi α'' est plus petit que α''', comme cela doit être, quand il n'y a pas perte de force vive. Dans l'équation (x'), le numérateur et le dénominateur du second membre sont négatifs à la fois, car p''' est $>p''$, en même temps que Ω' est $>\Omega$, de sorte qu'il n'est pas exact de dire, ainsi que le fait M. Navier, dans son mémoire sur l'écoulement des fluides (*Annales des mines*, 2ᵉ série, t. VI, p. 382), que la valeur de la vitesse, fournie par l'équation (x'), devient

imaginaire ou infinie, lorsque l'on a : $p''' \Omega' >$ ou $= p'' \Omega$. Il en résulte seulement que, dans ce même cas, p''' est $>$ ou $= p''$, ce qui rend le numérateur de la valeur de v''' nul ou négatif, en même temps que le dénominateur. Si les diamètres des deux conduites sont très-différents, ou si elles ne sont pas réunies, quand ils diffèrent peu, par une embouchure, qui prévienne les variations brusques dans la grandeur de la section, au passage d'une conduite à l'autre, la régularité du mouvement de l'air sera troublée. Il y aura des remous au passage d'une conduite à l'autre, et nous ne savons plus, à défaut d'expériences spéciales, quelles seront la vitesse moyenne et la force élastique de l'air, dans la section de la seconde conduite, qui suit l'embouchure, à une distance suffisante pour que les remous aient cessé, et que la régularité du mouvement soit rétablie. L'incertitude dans laquelle nous sommes ici, sur la quantité de travail perdu au passage de l'air dans une conduite plus large, est analogue à notre ignorance sur la véritable pression de l'air sur la face inférieure d'un piston, se mouvant uniformément dans un cylindre, dont le fond est percé d'un orifice, par lequel l'air extérieur est aspiré. S'il n'y avait aucune perte de force vive, la force élastique de l'air, en contact avec le piston, serait la même que si le cylindre était entièrement ouvert par le bas, et évasé de manière à prévenir les effets de la contraction. Ainsi, l'air qui se serait dilaté au passage à travers l'orifice, se comprimerait de nouveau dans l'intérieur du cylindre, de telle sorte que le travail résistant, dû à la compression, serait précisément égal à la demi-différence entre la force vive de l'air traversant l'orifice, et la

force vive de l'air se mouvant dans le cylindre, exactement comme il arrive, dans le cas où les sections du passage s'agrandissent par degrés insensibles. On sait bien qu'il n'en est pas ainsi, mais on ignore encore de combien la tension de l'air en mouvement dans le cylindre, surpasse celle de l'air au passage par l'orifice rétréci. Il est évident toutefois que la force élastique de l'air, dans le cylindre, lorsqu'il a pris une vitesse régulière égale à celle du piston, et que les remous ont cessé, ne peut être inférieure à celle de l'air, à son passage par l'orifice, de sorte qu'en admettant que la vitesse de l'air diminue, sans que sa force élastique augmente, nous sommes certains d'estimer trop haut la perte de force vive ou de travail moteur, qui a lieu au passage dans l'étranglement.

Il en est de même au passage de l'air, d'une conduite plus étroite, dans une conduite plus large. Arrivé à l'extrémité de la première, l'air possède une force élastique et une vitesse déterminées. En passant dans la seconde conduite, sa vitesse diminue par degrés, à mesure que le courant s'élargit, et la supposition que la pression n'augmente pas en même temps, revient à admettre que l'impression due à l'excès de vitesse de l'air, dans la conduite étroite, sur la vitesse de la masse d'air en mouvement dans la conduite plus large, est entièrement perdue pour l'effet utile. Au surplus, c'est de cette manière que les hydrauliciens évaluent la résistance qu'un étranglement, ou rétrécissement oppose au mouvement de l'eau, dans une conduite. (*Voyez* entr'autres, *Recherches sur le mouvement de l'eau*, etc., par M. Eytelwein, recueil de l'aca-

démie de Berlin, années 1814 et 1815, dont la traduction est insérée dans les *Annales des mines*, 1e série, t. II, § 7, du 1er mémoire, p. 428 de la traduction française.) En opérant de même, jusqu'à ce que des expériences *ad hoc* nous éclairent sur la pression qui s'établit, à la suite d'un renflement, dans une conduite, nous serons sûrs d'arriver à des formules qui, dans les applications, ne donneront pas une dépense trop grande, ce qui est le point le plus important.

Lors donc que l'air passera, d'une conduite plus étroite, dans une conduite plus large, (sauf le cas dont nous avons parlé précédemment), nous admettrons que la force élastique de l'air est la même, à l'origine de la deuxième conduite, et à l'extrémité de la première. L'équation (3') du mouvement de l'air, au passage d'une conduite à l'autre est alors inutile, et nous poserons immédiatement l'équation du mouvement, dans la seconde conduite. Cette équation, en conservant les notations adoptées, sera :

$$(4') \quad \alpha''' - \alpha'''' = \delta_2 \Delta'' \frac{q_1}{p_1}\left(\frac{H'}{v_2^2} + \frac{Q^2}{g\Delta''^2\Omega'^2}\left(\frac{6\chi'}{\Omega'}L' + \log.\,\Delta_2\right)\right),$$

dans laquelle α'''' est égal au rapport $\frac{p''''}{p_1}$ des forces élastiques de l'air, à l'extrémité de la seconde partie de la conduite, et à l'orifice d'écoulement de la conduite totale, diminué de l'unité.

Ainsi, dans tous les cas, on formera plusieurs équations simultanées relatives au mouvement de l'air, dans chaque partie de conduite d'un diamètre constant, et au passage d'une conduite à l'autre. Le cas, où un rétrécissement se trouverait dans une conduite, ne présenterait pas non plus

de difficulté, d'après ce qui vient d'être dit. On établirait l'équation du mouvement de l'air, dans la dernière partie de la conduite qui précède cet étranglement, partie que l'on regarderait comme l'orifice d'écoulement de cette conduite. Cette équation serait de même forme que l'équation (3), et Ω' y désignerait l'aire du passage que l'air doit traverser. Puis on établirait l'équation du mouvement de l'air, dans la partie de la conduite qui suit le rétrécissement, dans l'hypothèse que la force élastique de l'air n'augmente pas après le rétrécissement, quoique sa vitesse diminue. La dernière des équations que l'on formera sera relative à la dernière portion de la conduite, si celle-ci est entièrement ouverte, ou à l'embouchure de cette dernière partie, si elle est terminée par une embouchure. Dans l'un et l'autre cas, le premier membre de cette équation sera : $\alpha^{(n-1)} - \alpha^{(n)}$; et $\alpha^{(n)}$ sera ici égal à o, puisque la force élastique de l'air, qui franchira l'orifice d'écoulement de la conduite totale, sera égale à la pression extérieure p_1. L'addition, membre à membre, de toutes les équations simultanées (1), (2), (3), etc., fera disparaître toutes les inconnues auxiliaires α', α'', α'''.., $\alpha^{(n-1)}$, et cette équation finale de laquelle on tirera la valeur de la dépense, en fonction des pressions p_0 et p_1, sera :

$$\pi = \frac{q_1}{p_1}\left[\frac{Q^2}{2g}\left(\Sigma\left(\frac{1}{\Delta'\mu^2\Omega'^2} - \frac{1}{\Delta'\mu^2\Omega^2}\right) + \Sigma\frac{\delta_1}{\Delta'\Omega^2}\left(26\,\frac{\chi}{\Omega}L + 2\log.\Delta_1\right)\right)\right.$$
$$\left. + \Sigma\frac{\delta_1\Delta' H}{\nu_1^2}\right].$$

Ici, π est égal à $\frac{p_0 - p_1}{p_1}$.

$\frac{q_1}{p_1}$ est le rapport du poids du mètre cube d'air sortant par l'orifice d'écoulement, à la tension de cet air, qui est celle de l'air extérieur. Q est le volume d'air sortant, mesuré à la température T, et sous la pression p_1. Le signe Σ indique une somme de termes, de même forme que celui qui est inscrit sous ce signe.

La somme $\Sigma\left(\frac{1}{\Delta'\mu^2\Omega'^2}-\frac{1}{\Delta'\mu^2\Omega^2}\right)$ se rapporte aux passages de l'air d'une conduite dans une autre. Ω' est la section de la conduite, dans laquelle l'air entre; Ω la section de la conduite qui précède immédiatement, et d'où l'air passe dans la seconde. Δ' est égal au rapport $\frac{1+0{,}00375T}{1+0{,}00375t'}$, t' désignant la température de l'air au passage d'une conduite dans l'autre; μ le coefficient de réduction qui convient à la forme de l'embouchure. Il est égal à 1, si le passage a lieu, sans perte de forces vives; (nous avons dit dans quel cas cela est possible): dans tous les autres cas, on peut prendre $\mu = 0{,}93$.

Les doubles termes $\frac{1}{\Delta'\mu^2\Omega'^2}-\frac{1}{\Delta'\mu^2\Omega^2}$ sont généralement tous positifs, Ω' étant plus petit que Ω. Il faut cependant en excepter le cas que nous avons indiqué, avec détail, où l'air passerait d'une conduite plus étroite dans une autre plus large, mais néanmoins de dimensions peu différentes de la première, et où le passage aurait lieu dans une embouchure évasée, se raccordant bien, avec l'une et l'autre conduite. Dans ce cas, le coefficient μ devrait être pris égal à 1, et l'on aurait le terme négatif: $\frac{1}{\Delta'\Omega'^2}-\frac{1}{\Delta'\Omega^2}$. Dans toute autre

circonstance, le passage de l'air d'une conduite plus étroite, dans une conduite plus large, n'introduit aucun terme sous le premier signe Σ.

Dans la somme : $\Sigma \frac{2\delta_{,}}{\Delta'\Omega^{2}}\left(6\frac{\chi}{\Omega}L + \log.\Delta_{,}\right)$, qui provient des résistances dues à l'action des parois des diverses parties de la conduite, d'un diamètre uniforme, 6 est un coefficient numérique que l'on peut prendre égal à 0,0032 (1). Δ' est le rapport $\frac{1+0{,}00375T}{1+0{,}00375t'}$, t' désignant ici la température de l'air, à l'origine de la partie de conduite, à laquelle se rapporte chaque terme particulier; $\Delta_{,}$ est le rapport $\frac{1+0{,}00375t''}{1+0{,}00375t'}$, t'' et t' étant les deux températures de l'air, à sa sortie de la partie de conduite, et à son entrée dans cette partie; $\delta_{,}$ est un nombre compris entre 1 et $\Delta_{,}$. Log. $\Delta_{,}$ est un logarithme hyperbolique, lequel est positif ou négatif, suivant que la température de l'air s'élève, ou s'abaisse, dans le parcours de la partie de conduite, dont la longueur est L.

La somme $\Sigma \frac{\delta_{,}\Delta'H}{v_{,}^{2}}$ se rapporte à l'action de la gravité. Elle est composée de termes, les uns positifs, les autres négatifs; les parties de la conduite, dans lesquelles l'air circule en s'élevant, donnent lieu à des termes positifs; les termes négatifs proviennent des parties de la conduite, où l'air circule en descendant. La valeur numérique de H est égale à la différence de niveau, des deux

---

(1) Cette valeur est celle déduite des expériences de M. d'Aubuisson.

extrémités de la partie de conduite considérée. Le rapport Δ' se rapporte toujours à la température de l'air, à son entrée dans la partie de conduite dont il s'agit : δ_1 et ν_1 sont deux nombres compris entre 1 et Δ_1. Tous deux sont égaux à l'unité, quand la température demeure invariable, dans le parcours d'une partie de la conduite.

La valeur de Q fournie par l'équation précédente est :

$$(A) \quad Q = \sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_0 - p_1}{q_1} - \Sigma\frac{\delta_1 \Delta' H}{\nu'^2}\right)}{2\Sigma\frac{\delta_1}{\Delta'\Omega^2}\left(6\frac{\chi}{\Omega}L + \log.\Delta_1\right) + \Sigma\frac{1}{\Delta'\mu^2}\left(\frac{1}{\Omega''^2} - \frac{1}{\Omega^2}\right)}}$$

Lorsque l'on connaîtra la température T de l'air, ou du gaz, sortant par l'orifice d'écoulement, et le poids du mètre cube de ce gaz à la température de 0°, et sous la pression de 0m,76 de mercure, ou 10330 kilogrammes par mètre carré, on aura, en désignant par q ce dernier poids :

$$q_1 = \frac{q}{10330} \times \frac{p_1}{1+0,00375T}.$$

S'il s'agit d'air atmosphérique pur, ou très-peu altéré par un mélange d'humidité ou d'autres gaz, on peut prendre $q = 1^{k},3$.

Si les pressions p_0 et p_1 sont mesurées par un baromètre, et que h_0 et h_1 désignent les hauteurs, en mètres, des colonnes représentant ces pressions, ces hauteurs étant ramenées à 0, on a :

$$p_0 = h_0 \times 13598; \ p_1 = h_1 \times 13598.$$

D'ou : $\frac{p_o - p_1}{q_1} = \frac{(h_o - h_1)(1+0.00375T) \times 10330}{q h_1}$.

Enfin g peut être pris égal à 9,8088.

L'influence des coudes formés par les conduites, dans les cas où elles seraient sinueuses, est analogue à celle des étranglements : les expériences faites par M. d'Aubuisson, pour avoir la mesure de cette influence, n'ayant pu le conduire à aucune loi, nous ne pouvons pas introduire cette cause de résistance dans nos équations. Il est vraisemblable qu'elle pourra être évitée presque complétement, par l'arrondissement des coudes. (*Traité d'hydraulique*, de M. d'Aubuisson, p. 513.)

7. Bien que la formule (A) renferme des nombres δ_1 et ν_1, dont la valeur exacte ne saurait être déterminée, dans la plupart des applications, les limites supérieure et inférieure assignées à ces nombres, permettent de tirer de la formule des valeurs suffisamment exactes, dans la plupart des cas. Ainsi, quand les variations de température, dans le parcours d'une portion déterminée de la conduite, ne dépasseront pas 25 à 30 degrés centigrades, Δ_1 différera peu de l'unité, et on ne s'exposera pas à commettre une erreur, qui ait une influence sensible sur la valeur de Q, en prenant pour δ_1 et ν_1 la valeur moyenne entre les limites extrêmes, c'est-à-dire $\frac{1+\Delta_1}{2}$.

La supposition que $\delta_1 = \nu_1 = \frac{1+\Delta_1}{2}$, rend le coefficient de H égal à $\frac{2\Delta'}{1+\Delta_1}$, ou à

$$\frac{1+0,00375\,T}{1+0,00375\,\frac{t'+t''}{2}}.$$

Le rapport $\frac{\delta_{\prime}}{\Delta'}$, qui entre au dénominateur, est remplacé, dans le même cas, par $\frac{1+0.00375\frac{t'+t''}{2}}{1+0,00375T}$.

Si les variations de température étaient considérables, on pourrait s'exposer à des erreurs considérables, en remplaçant généralement $\delta_{\prime}$ et $\nu_{\prime}$ par la moyenne entre les valeurs extrêmes. Mais il arrivera, dans beaucoup de cas, que la partie de la conduite, où cette variation considérable de température aura lieu, sera peu étendue. C'est ce qui a lieu, par exemple, lorsque l'air est échauffé par le contact direct d'un foyer. Alors les valeurs de H et de L, relatives à cette partie de la conduite seront petites, et si la conduite totale est d'ailleurs fort longue, l'erreur assez grave que l'on pourra commettre sur les valeurs de $\delta_{\prime}$ et de $\nu_{\prime}$, n'aura cependant que très-peu d'influence sur la valeur de la dépense Q.

D'ailleurs, il pourra arriver, que les données même de la question particulière, que l'on se propose de résoudre, fournissent des notions sur les valeurs de $\delta_{\prime}$ et de $\nu_{\prime}$. On pourra savoir, par exemple, que la température de l'air varie rapidement à son entrée, dans une certaine partie de la conduite, et demeure ensuite presque constante, dans le reste du parcours. Enfin, à défaut de notions semblables, il sera toujours possible de choisir, entre les limites assignées, les valeurs de $\delta_{\prime}$ et de $\nu_{\prime}$, qui fourniront pour Q, la plus petite valeur possible, et l'on agira ainsi, comme nous l'avons fait d'ailleurs, dans l'application au mouvement de l'air chaud, dans les porte-vents des souffleries, toutes les fois que l'on voudra obtenir

une limite inférieure de la dépense Q, ou une limite supérieure de la quantité de travail à dépenser, pour obtenir une dépense donnée d'avance.

Quoi qu'il en soit, le facteur qui multiplie $2g$, au numérateur de l'expression, sous le radical, est toujours l'expression d'une certaine hauteur h, que l'on peut appeler la hauteur motrice; en effet, $\frac{p_0 - p_1}{q_1}$ est (paragraphe 2) la hauteur d'une colonne de fluide, supposée incompressible, et de même densité que le fluide qui traverse l'orifice d'écoulement, capable d'exercer sur sa base inférieure une pression égale à $p_0 - p_1$. Chacun des termes $\frac{\delta_1 \Delta'}{\nu_1^2}$H, est la hauteur verticale H d'une portion de la conduite, multipliée par le rapport $\frac{\delta_1 \Delta'}{\nu_1^2}$. Or, si l'on suppose $\delta_1 = \nu_1 = \frac{\Delta_1 + 1}{2}$, ce rapport devient égal, ainsi que nous l'avons vu, à $\frac{1+0,00375T}{1+0,00375\frac{t'+t''}{2}}$, de sorte que le terme $\frac{\delta_1 \Delta'}{\nu_1^2}$H exprime, dans ce cas, la hauteur réelle H de la partie de conduite, à laquelle ce terme se rapporte, multipliée par le rapport précédent; c'est ce que l'on peut appeler la hauteur H, réduite de la température moyenne $\frac{t'+t''}{2}$ de l'air, qui circule dans cette partie de la conduite, à la température T, que possède l'air qui franchit l'orifice d'écoulement.

La somme $\Sigma \frac{\delta_1 \Delta'}{\nu_1^2}$H exprime donc la somme

algébrique des hauteurs verticales, des parties de la conduite, *réduites de la température moyenne propre à l'air dans chaque partie, à la température* T *de l'air, qui sort par l'orifice d'écoulement.* Cette somme algébrique retranchée de la hauteur de la colonne d'air, à la température T, susceptible d'exercer sur sa base inférieure la pression $p_o - p_1$, forme donc le multiplicateur de $2g$ dans la valeur de Q, et c'est ce multiplicateur que nous appellerons la hauteur motrice, et que nous désignerons par h.

8. Appliquons notre formule à la ventilation des mines. Ainsi que nous l'avons expliqué d'abord, on peut se représenter l'ensemble des travaux d'une mine, comme formant une suite continue de galeries, ou une espèce de labyrinthe, plus ou moins sinueux, qui est mis en communication avec l'atmosphère, par ses deux extrémités, au moyen de puits ou de portions de galeries.

Supposons donc que P, P' (*fig.* 6) soient les deux puits, et que MN représente le labyrinthe développé, formé par l'ensemble des galeries souterraines. Comme il ne s'agit point ici d'une application particulière, mais seulement de faire voir comment les principes, que nous avons développés, peuvent être appliqués, nous considérerons MN comme une conduite rectiligne, horizontale, de section uniforme partout, qui mettrait en communication, par leur pied, les deux puits P et P'. Nous désignerons par L, la longueur de cette galerie MN. La température des excavations souterraines, situées même à de petites profondeurs, demeure sensiblement uniforme, pendant toute l'année, et cette température, dans les mines profondes, est toujours supérieure à la température moyenne du

climat, où est située la mine. Indépendamment de l'accroissement de température avec la profondeur, constaté aujourd'hui par des observations multipliées, des causes locales telles que certaines actions chimiques, contribuent, dans beaucoup de mines, surtout dans les mines de houille, à élever encore cette température. Toujours est-il qu'il y a le plus ordinairement, et en toute saison, une différence de température entre l'atmosphère extérieure et les excavations, ce qui suffit pour déterminer naturellement, un courant d'air continu dans les travaux, pourvu que les orifices AB et CD des deux puits P et P', soient situés à des niveaux différents.

Supposons, par exemple, que la température de l'atmosphère soit inférieure à celle des excavations. Si nous imaginons qu'il y ait immobilité de l'air, comme dans le cas où les deux puits fermés viendraient à s'ouvrir, il est clair que les deux puits P, P', ainsi que la galerie MN, étant supposés remplis d'air à une température uniforme, supérieure à celle de l'atmosphère, il n'y aura point équilibre entre les pressions de l'atmosphère extérieure sur les orifices AB et CD, et le poids de l'air plus chaud de la mine. Considérant en effet les deux puits et la galerie de jonction comme un grand siphon, concevons que les deux plans horizontaux, des orifices AB et CD, soient prolongés. Les deux colonnes d'air chaud contenues dans les puits P et P', au-dessous du plan horizontal, passant par l'orifice AB du puits inférieur, se feront mutuellement équilibre : mais la pression sur la section *ab* faite dans le puits P', sera égale à la pression atmosphérique sur l'orifice CD de ce puits, plus la pression due à la colonne d'air

chaud, contenue dans le puits entre AB et *ab* La pression sur l'orifice AB du puits P, sera égale à la pression atmosphérique, qui a lieu en CD, plus celle due à la colonne d'air atmosphérique, comprise entre le plan CD et le plan AB.

La colonne d'air chaud comprise entre AB et *ab* ayant, par suite de sa température plus élevée, une densité moindre que la colonne d'air atmosphérique de même hauteur, on voit que la pression sur l'orifice AB sera plus grande que la pression sur *ab*, qu'en conséquence l'équilibre sera rompu, et qu'il s'établira un courant d'air entrant par le puits P, et qui ira sortir par l'orifice du puits P′, situé à un niveau plus élevé, après avoir parcouru les travaux. La hauteur de la colonne d'air motrice qui rompra l'équilibre s'obtiendra en réduisant la colonne d'air atmosphérique comprise entre les plans horizontaux des orifices AB et CD, de la température atmosphérique à la température de la colonne d'air contenue dans le puits P′, entre la section *ab* et l'orifice CD, et retranchant de la hauteur ainsi réduite la hauteur primitive. Ainsi : h désignant la profondeur du puits P, h' la profondeur du puits P′, t la température de l'atmosphère, T la température de l'air propre aux galeries souterraines, et que nous supposerons être aussi celle de l'air contenu dans les puits, jusqu'à leur orifice, (hypothèse d'ailleurs conforme à ce qui aurait lieu réellement, puisque l'air chaud tend à occuper les parties les plus élevées de l'excavation), la hauteur de la colonne qui rompra l'équilibre, dans les premiers instants, sera : $(h'-h)\left\{\frac{1+0,00375\mathrm{T}}{1+0,00375t}-1\right\}$.

Lorsqu'au bout d'un temps plus ou moins long,

le courant sera devenu permanent, la température du courant sera aussi permanente, en chaque point de l'espace parcouru, et la température finale qui s'établira en chaque point, dépendra de la vitesse même du courant. Généralement l'air, avant d'avoir parcouru tout le développement des galeries aura pris une température très-voisine de la température T propre aux galeries MN, et la conservera jusqu'à sa sortie par l'orifice du puits P'. La température du courant descendant par le puits P ira en augmentant, de sorte qu'au bas du puits, elle sera devenue égale à t', t' étant un certain nombre compris entre t et T. Nous supposerons qu'arrivé dans la galerie à une distance l, le courant ait acquis la température, qu'il conservera jusqu'à la sortie, et qui diffère tellement peu de T, que nous pouvons la supposer égale à cette dernière valeur. Dans cet état de choses, la hauteur de la colonne motrice sera égale, d'après le paragraphe 7, à

$$(h'-h)\frac{1+0,00375T}{1+0,00375t}+h\times\frac{1+0,00375T}{1+0,00375\frac{t+t'}{2}}-h'$$

$$=(h'-h)\left(\frac{1+0,00375T}{1+0,00375t}-1\right)+h\left(\frac{1+0,00375T}{1+0,00375\frac{t+t'}{2}}-1\right),$$

Et comme t' est nécessairement plus petit que T, on voit que cette hauteur motrice est plus grande, que celle de la colonne, qui a d'abord rompu l'équilibre. D'ailleurs t' demeure d'autant plus voisin de t, et par conséquent d'autant plus petit, que la vitesse du courant est plus grande; ainsi la hauteur motrice augmente avec la vitesse du courant. On pourrait aussi observer, que

le dénominateur de la valeur (A) de Q diminue, en même temps que la température de l'air se maintient plus basse, sur une plus grande étendue du parcours, en supposant toutefois qu'il arrive au bas du puits de sortie, avec la même température finale. Il résulte évidemment de là, que quand le courant sera une fois devenu permanent, si on vient à augmenter momentanément sa vitesse par des moyens artificiels, la vitesse du courant diminuera bien, dès que l'on cessera de l'activer par ces moyens : mais néanmoins, elle se maintiendra indéfiniment, au-dessus de la vitesse de régime, qui se serait établie naturellement, sans l'influence des moyens artificiels.

Si les orifices des deux puits sont dans un même plan de niveau, il n'y aura pas de cause pour que le mouvement de l'air commence. Il y aura équilibre dans l'origine ; mais cet équilibre sera instable, et si une cause quelconque détermine le mouvement, dans un sens ou dans l'autre, le mouvement se continuera dans le même sens, et finira par se régler, comme s'il y avait une différence de niveau, entre les orifices des puits d'entrée et de sortie. La vitesse finale que prendra le courant devenu permanent, dépendra en très-grande partie de la vitesse qu'on aura pu imprimer au courant, dans l'origine, par des moyens artificiels, ou qui peut être aussi le résultat de causes accidentelles.

Admettons maintenant que la température extérieure, soit plus élevée que la température de l'air, qui remplit les excavations souterraines. Partant d'abord de l'état de repos, on voit que la pression sur la section *ab* faite dans le puits P', sera égale à la pression atmosphérique qui a lieu en

CD, plus la pression due à la colonne d'air froid, comprise entre *ab* et l'orifice. La pression sur l'orifice AB du puits P sera égale à la pression atmosphérique qui a lieu au niveau de CD, plus la pression due à la colonne atmosphérique, comprise entre AB et le plan CD. Celle-ci ayant, par suite de sa température plus élevée, une densité moindre que celle de la colonne d'air comprise entre *ab* et CD, on voit que la pression sur *ab* sera plus grande que celle sur CD. L'équilibre sera donc rompu, et il s'établira un courant d'air entrant par le puits P', et qui ira remonter au jour par le puits P. La hauteur de la colonne qui rompra l'équilibre, sera exprimée ici par

$$(h'-h)\left(1-\frac{1+0{,}00375t}{1+0{,}00375T}\right),$$

t étant la température de l'air dans la mine, et T la température extérieure que nous supposons plus élevée. (Il faut bien se souvenir que la hauteur motrice est celle d'une colonne réduite à la densité de l'air sortant : c'est pourquoi nous avons dû ramener ici la colonne d'air extérieure dont la hauteur est $h'-h$ à la densité de l'air sortant, c'est-à-dire à la température t, et retrancher cette hauteur ainsi réduite, de la hauteur primitive).

Quand le mouvement sera devenu permanent, l'expression de la hauteur motrice sera différente : d'abord le terme $\frac{p_0-p_1}{q_1}$ sera ici négatif et égal à

$$-(h'-h)\times\frac{1+0{,}00375t}{1+0{,}00375T},$$

en supposant que l'air sortant ait acquis la température t, propre aux galeries souterraines.

La somme algébrique des hauteurs réduites $\Sigma\frac{\delta_1 \lambda'}{\nu_1}$H, à retrancher du terme précédent, sera :

$$h-h'\times\frac{1+0,00375t}{1+0,00375\frac{t'+T}{2}},$$

t' désignant la température du courant au bas du puits P'. La hauteur motrice sera donc définitivement exprimée par :

$$h'\times\frac{1+0,00375t}{1+0,00375\frac{t'+T}{2}}-h-(h'-h)\frac{1+0,00375t}{1+0,00375T};$$

Et comme t' est toujours plus grand que t, il est visible que cette hauteur sera toujours moindre que celle de la colonne, qui a rompu l'équilibre. Il est évident aussi, que la hauteur motrice diminuera, avec la vitesse du courant, et deviendra même nulle, lorsque le courant sera assez rapide, pour que la colonne d'air, descendante dans le puits P', ait un poids précisément égal à la colonne d'air ascendante par le puits P, plus le poids de la colonne d'air atmosphérique, comprise, entre les plans de niveau des orifices, ces colonnes étant supposées avoir des bases égales. Il résulte de là que, si l'on vient à activer momentanément la circulation par des moyens artificiels, la vitesse diminuera très-rapidement, aussitôt qu'on cessera d'employer ces moyens, jusqu'à ce qu'elle redevienne égale à la vitesse de régime qu'aurait pris le courant, par la seule différence des températures extérieure et intérieure. Si les orifices des deux puits sont dans un même plan de niveau, l'équilibre sera stable, et la circu-

lation de l'air exigera, pour être entretenue, l'emploi d'une puissance motrice, agissant continuellement.

Aussi la ventilation des mines, quand elle se fait naturellement, est-elle beaucoup plus active dans la saison froide, que dans les fortes chaleurs de l'été, non-seulement parce que, en hiver, la différence de température entre l'extérieur, et l'intérieur est souvent plus considérable, mais encore parce que des différences égales de température produisent un courant beaucoup plus actif, et l'on pourrait même dire plus stable, quand la plus haute des deux températures, existe dans l'intérieur de la mine.

Tous les faits que nous venons de passer en revue sont bien connus des mineurs, et de toutes les personnes qui se sont un peu occupées d'exploitation. Il était même facile de les prévoir, d'après les notions les plus simples d'hydrostatique. Néanmoins il n'était pas inutile de faire voir comment ils étaient une conséquence très-simple de notre formule générale (1).

9. Dans les mines étendues, à galeries étroites, celles surtout où l'air est vicié par des émanations particulières, comme le gaz hydrogène carboné dans les mines de houille, l'acide carbonique, etc., le courant naturel, dû à la différence des températures, est trop ralenti par le frottement des parois, les coudes brusques des galeries qu'il

(1) La variation de température n'est pas la seule cause qui influe sur la densité de l'air qui circule dans les galeries de mines L'altération chimique de l'air, et surtout le mélange avec d'autres gaz, tels que la vapeur d'eau, le gaz acide carbonique, l'hydrogène plus ou moins carboné, ont une influence très-marquée.

doit parcourir, les passages rétrécis, etc., pour qu'il suffise à une bonne ventilation. Il faut alors avoir recours à des moyens artificiels, et l'on peut employer, à cet effet, le jeu des machines soufflantes ou aspirantes, ou bien un foyer d'airage. Ce dernier moyen est surtout usité dans les mines de houille, celles dont la ventilation présente les plus grandes difficultés, tant à cause de l'immense développement des travaux souterrains, dans les mines de cette espèce exploitées en grand, que par suite de la présence fréquente du gaz hydrogène proto-carboné, ou de l'acide carbonique.

Le foyer d'airage s'établit au bas de l'un des puits, qui mettent les travaux en communication avec l'atmosphère. Il doit être entièrement ouvert sur le devant, afin d'offrir un passage très-large à l'air qui doit le traverser; de sorte qu'il doit consister tout simplement en une large et longue grille, élevée de quelques pieds au-dessus du sol de l'excavation ou galerie, par laquelle l'air se rend au puits. Bien entendu que cette partie de galerie doit être revêtue d'un muraillement en briques, pour préserver la roche de l'action du foyer, et que toutes les précautions possibles doivent être prises, pour que la houille ne coure aucun risque d'être incendiée. Dans ce but, il est convenable d'établir le foyer dans une portion de galerie creusée dans le roc. Les portes que l'on adapte aux foyers ordinaires, les rétrécissements qui suivent le foyer, etc., seraient ici tout-à-fait déplacés; ils seraient une cause de résistance au mouvement de l'air.

La combustion est entretenue par une très-petite partie de l'air qui traverse le foyer, et la température de la masse totale d'air est élevée

par son mélange avec les gaz résultant de la combustion, et par le calorique qu'elle reçoit par le rayonnement, ou le contact avec les parois. La densité de l'air mélangé aux gaz résultant de la combustion, diffère très-peu de celle de l'air naturel, de sorte que l'on peut négliger cette différence, et admettre que les choses se passent, comme si l'air était simplement échauffé à son passage sur le foyer, sans éprouver aucune modification de composition ou de densité. L'excès de température que l'air a pris à sa sortie du foyer, se perd en partie par le refroidissement dû au contact des parois du puits, au rayonnement vers l'orifice libre, ou à des causes accidentelles, telles que des filtrations d'eaux froides, etc. Néanmoins, si la température de l'air n'est pas très-élevée, comme cela a lieu ordinairement, et si les causes accidentelles de refroidissement sont peu importantes, l'abaissement de température dû à la perte de calorique, par le contact avec les parois, ou le rayonnement, sera faible, et pourra être négligé, lorsque les parois du puits seront une fois échauffées, par un courant d'air chaud continué depuis longtemps.

Admettons que le foyer soit établi au bas du puits le plus profond P'. Appelons t_0 la température de l'air extérieur, entrant par le puits P, t_1, la température existante au bas du puits P, lorsque le courant est devenu permanent, t_2 la température que l'air a acquise, lorsqu'il a parcouru une certaine longueur L', du développement des galeries, et qu'il conserve jusqu'à son arrivée sur le foyer d'airage, T la température prise, au passage par le foyer d'airage, qui est, par hypothèse, situé à l'extrémité des galeries, près du puits P': supposons enfin que cette température

de l'air demeure constante, dans toute la hauteur du puits de sortie P'.

Il est facile d'établir la formule, qui donnera le volume Q d'air débité par seconde, ce volume étant mesuré à la température T, et sous la pression p_1, qui a lieu à l'orifice du puits P'.

La hauteur motrice sera égale à :

$$(h'-h)\,\frac{1+0,00375T}{1+0.00375t_0}+h\times\frac{1+0,00375T}{1+0,00375\frac{t_0+t_1}{2}}-h'.$$

Désignant cette hauteur par H, l'on aura :

$$Q=\sqrt{\frac{2gH}{2\Sigma\,\frac{\delta_1}{\Delta'\Omega^2}\left(6\,\frac{\chi}{\Omega}L+\log.\,\Delta_1\right)+\Sigma\frac{1}{\Delta'}\left(\frac{1}{\mu^2\Omega'^2}-\frac{1}{\mu^2\Omega^2}\right)}}.$$

La somme des termes, qui entrent au dénominateur, est facile à obtenir. Ainsi, on a, en calculant les cofficients δ_1, comme si la température, dans chaque partie du parcours, était uniforme, et égale à la moyenne arithmétique des températures extrêmes :

$$\Sigma\,\frac{\delta_1}{\Delta'\Omega^2}\left(6\frac{\chi}{\Omega}L+\log.\Delta_1\right)=\frac{1+0,00375\frac{t_0+t_1}{2}}{(1+0,00375T)\Omega^2}\left(6\frac{\chi}{\Omega}h+\log.\frac{1+0,00375\,t_1}{1+0,00375t_0}\right)$$

$$+\frac{1+0,00375\frac{t_1+t_2}{2}}{(1+0,00375T)\Omega^2}\left(6\frac{\chi}{\Omega}L'+\log.\,\frac{1+0,00375t_2}{1+0,00375t_1}\right)$$

$$+\frac{1+0,00375t_2}{(1+0,00375T)\Omega^2}\times 6\frac{\chi}{\Omega}(L-L')$$

$$+\frac{1+0,00375\frac{t_2+T}{2}}{(1+0,00375T)\Omega^2}\left(6\frac{\chi}{\Omega}l+\log.\frac{1+0.00375T}{1+0,00375\,t_2}\right)$$

$$+\frac{1}{\Omega^2}\,6\frac{\chi}{\Omega}h'.$$

L exprime le développement total des galeries souterraines ; l la longueur du foyer.

Quant à la somme, $\Sigma \frac{1}{\Delta'}\left(\frac{1}{\mu^2\Omega'^2}-\frac{1}{\mu^2\Omega^2}\right)$, elle se réduira à : $\frac{1+0{,}00375t}{1+0{,}00375T}\times\frac{1}{\mu^2\Omega^2}$, si on suppose que la conduite soit partout d'une section constante, et si l'on néglige les résistances provenant des coudes des galeries.

Or, si l'on suppose, 1° que les températures t_0, t_1, t sont identiques, c'est-à-dire que le courant d'air conserve la température, qu'il possède, à son entrée dans le puits P, jusqu'à ce qu'il arrive sur le foyer ; 2° que le développement total du circuit, parcouru par le courant d'air, est très-étendu par rapport aux profondeurs des puits h et h'; tous les termes du dénominateur qui contiennent des logarithmes, ainsi que celui, qui se rapporte au passage de l'air sur le foyer, deviendront nuls, ou négligeables, par rapport à la somme des autres termes, et la valeur de Q, pourra se mettre alors sous la forme très-simple :

$$Q=\varsigma\left(\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t}\right)\sqrt{\frac{2gh'\frac{\alpha(T-t)}{1+\alpha T}}{2\beta\frac{\chi}{\Omega}\left(h+L+\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t}h'\right)+\frac{1}{\mu^2}}}$$

α désignant le coefficient 0,00375 de la dilatation des gaz, et t la température atmosphérique.

Comme le terme $\frac{1}{\mu^2}$ est très-petit par rapport au premier terme du dénominateur, et que d'ailleurs, la différence entre $h+L+\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t}h'$,

et $h+L+h'$ est aussi très-petite. quand L est fort grand, on peut encore prendre approximativement :

$$Q = \Omega\left(\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t}\right)\sqrt{\frac{2gh'\frac{\alpha(T-t)}{1+\alpha T}}{2\beta\frac{\chi}{\Omega}(h+L+h')}};$$

d'où l'on voit que le volume d'air sortant, mesuré à la température T, est à peu près proportionnel à la racine carrée de la profondeur du puits P', dans lequel s'élève le courant d'air chaud, et à la racine carrée du produit $(T-t)(1+\alpha T)$; mais ce volume, réduit à la température de l'air atmosphérique t, sera seulement exprimé par :

$$(c) \qquad Q' = \Omega\sqrt{\frac{2gh'\alpha\frac{T-t}{1+\alpha T}.}{2\beta\frac{\chi}{\Omega}(h+L+h')}}$$

De sorte que le volume d'air, mesuré à la température de l'atmosphère, sera simplement proportionnel, à la racine carrée de la profondeur verticale h', et à la racine carrée du rapport $\frac{T-t}{1+\alpha T}$.

L'expression approchée des volumes Q et Q' sera même, nécessairement, supérieure au volume réel, toutes les fois que l'air atmosphérique s'échauffera, en parcourant les galeries, avant d'arriver au foyer d'airage; car alors, le dénominateur réel de la fraction, sous le $\sqrt{\ }$, sera plus grand que la valeur approchée, que nous avons adoptée. Il pourrait encore en être de même, si l'air se refroidissait, dans le parcours des galeries; mais cela ne

serait plus certain, parce que plusieurs des termes négligés au dénominateur, seraient négatifs.

10. On sait que la chaleur spécifique de l'air, à des températures, et sous des pressions peu différentes des températures, et des pressions atmosphériques ordinaires, est égale à 0,2669. La quantité de chaleur dépensée, pour porter la température de l'air de t à T, s'obtiendra donc, en multipliant le poids de l'air, qui passe sur le foyer, par 0,2669. Le volume d'air à la température t, et sous la pression $p_{,}$, qui a traversé le foyer dans une seconde, étant désigné par Q', le poids de cet air sera égal à :

$$Q' \times \frac{1.3 \times p_{,}}{10330(1+0,00375t)}.$$

La quantité de chaleur dépensée par seconde, sera en conséquence :

$$0,2669 \times \frac{Q' \times 1.3 \times p_{,}(T-t)}{10330\,(1+0,00375t)},$$

et en remplaçant Q' par sa valeur, désignant la quantité de chaleur par C, on aura :

$$C = 0,2669\,\Omega \times \frac{1.3p_{,}}{10330}\left(\frac{T-t}{1+\alpha t}\right)\sqrt{\frac{2gh'\alpha\dfrac{T-t}{1+\alpha T}}{26\dfrac{\chi}{\Omega}(h+L+h')}}.$$

Ainsi la quantité de chaleur dépensée, dans l'unité de temps, sera proportionnelle à :

$$\frac{\left(T-t\right)^{\frac{3}{2}}}{(1+\alpha t)\sqrt{1+\alpha T}}.$$

11. Voyons maintenant, quel serait le travail moteur nécessaire, pour faire circuler dans les tra-

vaux, la même quantité d'air, au moyen d'une machine soufflante placée sur le puits P. Nous comparerons ainsi, la dépense en combustible qu'exigent les foyers, à la dépense de force qu'exigent les machines.

Une machine soufflante, placée sur le puits P, et qui foulerait l'air atmosphérique, pris à la pression p_0, et à la température t, dans ce puits, agirait en comprimant l'air extérieur, depuis la pression p_0, jusqu'à une pression supérieure P_0, qui déterminerait la circulation du courant. Appelant V le volume d'air sortant par l'orifice du puits P′, dans une seconde de temps, ce volume étant mesuré à la température t, et sous la pression p_1, qui a lieu en CD, on aurait l'équation approchée :

$$(a) \qquad V=\Omega\sqrt{\frac{2g\left(\frac{P_0-p_1}{q_1}+h-h'\right)}{2\mathrm{б}\frac{\chi}{\Omega}(h+L+h')}}.$$

Le travail moteur nécessaire, pour produire le jeu de la machine soufflante, serait, abstraction faite des résistances passives, égal au travail nécessaire, pour comprimer la masse d'air ci-dessus, depuis la pression atmosphérique p_0, jusqu'à la pression P_0, déterminée par l'équation précédente. Le volume V étant mesuré sous la pression p_1, la même masse d'air aura, sous la pression p_0, un volume égal à $\frac{p_1}{p_0}V$, et le travail moteur nécessaire, pour comprimer ce volume, depuis la pression p_0 jusqu'à la pression P_0, sera :

$$p_0\times\frac{p_1}{p_0}V\log.\frac{P_0}{p_0}=p_1V\log.\frac{P_0}{p_0};$$

ou approximativement :

$$\frac{p_1}{p_0}V(P_0-p_0).$$

Or on a, à très-peu près, et au degré d'approximation auquel nous nous sommes arrêtés, dans tous les calculs précédents :

$$p_0=p_1+q_1(h'-h),$$

$$\frac{p_1}{p_0}=1-\frac{q_1(h'-h)}{p_0};$$

le travail moteur cherché étant donc désigné par M, on aura :

$$(b)\quad M=V\left(P_0-p_1-q_1(h'-h)\right)\left(1-\frac{q_1}{p_0}(h'-h)\right),$$

et en substituant à P_0-p_1, sa valeur tirée de l'équation (a) :

$$M=\frac{V^3q_1}{\Omega^2}\,\frac{6}{g}\,\frac{\chi}{\Omega}(h+L+h')\left(1-\frac{q_1}{p_0}(h'-h)\right).$$

Si nous voulons exprimer que le courant d'air, produit par le jeu de la machine soufflante, est égal au courant, qui résulte d'une élévation de température de t à T^d, par l'action du foyer d'airage, il faut égaler les valeurs (a) de V, et (c), paragraphe 9, de Q' ; ce qui donne, en élevant au carré, et supprimant les facteurs communs :

$$\frac{P_0-p_1}{q_1}+h-h'=\alpha h'\frac{T-t}{1+\alpha T},$$

d'où l'on tire :

$$P_0-p_1-q_1(h'-h)=\alpha q_1h'\frac{T-t}{1+\alpha T}.$$

Portant la valeur de $P_o - p_i - q_i(h'-h)$ dans la valeur (b) de M, il vient :

$$M = V\alpha q_i h' \frac{T-t}{1+\alpha T}\left(1-\frac{q_i}{p_o}(h'-h)\right).$$

Divisant cette valeur de M, par l'expression trouvée ci-dessus, de la quantité de chaleur nécessaire, pour produire un courant de même intensité, donnée dans le paragraphe 10, on a, en observant que $V = Q' = \Omega \sqrt{\frac{2gh'\alpha \frac{T-t}{1+\alpha T}}{2\mathrm{6}\frac{\chi}{\Omega}(h+L+h')}}$:

$$\frac{M}{C} = \frac{\alpha}{0.2669} \times \frac{h'}{1+\alpha T} \times \frac{q_i \times 10330(1+\alpha t)}{1.3 \times p_i}\left(1-\frac{q_i}{p_o}(h'-h)\right).$$

Mais on a la relation :

$$q_i = 1.3 \times \frac{p_i}{10330(1+\alpha t)};$$

de sorte que la valeur précédente de $\frac{M}{C}$ se réduit simplement à :

$$(A) \qquad \frac{M}{C} = \frac{\alpha}{0,2669} \times \frac{h'}{1+\alpha T}\left(1-\frac{q_i}{p_o}(h'-h)\right).$$

12. Tel est le rapport simple, entre le travail moteur et la quantité de chaleur dépensés, pour obtenir des courants d'air, d'égale force, avec une machine soufflante, et par le moyen d'un foyer d'airage, en négligeant toutefois les résistances passives de la machine employée. On voit que ce rapport décroît à mesure que la température T, que le foyer doit communiquer à l'air, augmente.

Ainsi, plus on aura besoin d'une circulation active, qui nécessiterait une température plus élevée, et moins les foyers seront avantageux, comparativement aux machines soufflantes. Le rapport $\frac{M}{C}$ croît, au contraire, à mesure que la profondeur h' du puits, par lequel monte l'air chaud, est plus grande. Il est indépendant de la température t de l'air atmosphérique. Quant au facteur $1-\frac{q_1}{p_0}(h'-h)$, il est toujours voisin de l'unité, et n'influe par conséquent pas beaucoup sur la valeur du rapport $\frac{M}{C}$; à cause de ce facteur, le rapport $\frac{M}{C}$ diminuerait un peu, à mesure que la différence de niveau $h'-h$ des orifices des deux puits augmenterait, le puits, par lequel l'air sort, étant supposé avoir son orifice, à un niveau plus élevé que l'orifice du puits d'entrée de l'air.

Soit $h'=400$ mètres, ce qui est une des plus grandes profondeurs auxquelles on soit arrivé dans l'exploitation des mines; $T=25$ degrés, ce qui est une des plus faibles températures, que puisse prendre un courant échauffé par un foyer: le nombre $\alpha=0.00375$. Ces valeurs portées dans l'expression (A) donnent, en négligeant la petite quantité $\frac{q_1}{p_0}(h'-h)$, ce qui revient d'ailleurs à supposer, que les orifices des puits d'entrée et de sortie de l'air, sont situés au même niveau :

$$\frac{M}{C}=5.1384.$$

T devant être nécessairement plus grand que la température extérieure t, la valeur maximum du rapport $\frac{M}{C}$ pour des valeurs données de t et de h', s'obtiendra en supposant $T = t$, et cette valeur sera une limite supérieure que le rapport $\frac{M}{C}$ ne saurait jamais atteindre. Cette limite qui croît avec la profondeur verticale h' est, pour $h' = 400^m$, et $t = 10^d$., égale à 5.414.

Or on sait, d'une part, que la combustion d'un kilogramme de houille produit à peu près 6000 unités de chaleur, d'autre part que dans les machines à vapeur, qui ne sont pas très-défectueuses, la consommation de combustible s'élève à 5 kilogrammes de houille, par force de cheval et par heure. Il résulte de là que, dans le travail pratique des machines à vapeur, chaque unité de chaleur donne lieu à un travail moteur égal à :

$$\frac{75 \times 60 \times 60}{5 \times 6000} = 9 \text{ kilog. à un mètre.}$$

De ce que la valeur maximum du rapport $\frac{M}{C}$, pour une valeur de h' égale à 400^m., et $t = 10^d$. est inférieure à 9, il résulte que, dans ce cas extrême, la quantité de combustible brûlée sur un foyer d'airage, pour obtenir une circulation d'air dans la mine, produirait un effet plus considérable, si elle était employée à mouvoir, par l'intermédiaire d'une machine à vapeur ordinaire, une machine soufflante qui foulerait de l'air par le puits P. Pour que la valeur maximum du rap-

port $\frac{M}{C}$ devint égale à 9, en supposant $t = 10°$, il faudrait que la profondeur h' du puits de sortie de l'air fût de plus de 660 mètres, ce qui excède la plus grande profondeur des puits creusés, à ma connaissance, pour l'exploitation de la houille. Pour des profondeurs ordinaires de 200 et 300 mètres, et la même température extérieure, la valeur maximum du rapport $\frac{M}{C}$ est seulement égale à 2,71 ou 4,06.

On pourrait objecter, il est vrai, que nous avons fait abstraction des résistances passives, dues au jeu de la machine soufflante, telles que les frottements, les résistances dues au passage de l'air, à travers des passages rétrécis, etc., et que la perte du travail moteur, dans les machines soufflantes, paraît, d'après les observations connues, devoir être très-considérable. Mais on peut répondre à cette objection, 1° que nous avons supposé, que la quantité de chaleur totale, produite par la combustion de la houille consommée sur le foyer d'airage, était complétement utilisée pour échauffer l'air, et que cet air échauffé n'éprouvait aucun refroidissement, dans son ascension par le puits, ce qui est bien loin d'être exact; tandis que le nombre 9 exprime le rapport, déterminé par l'expérience journalière, entre le travail *disponible* d'une machine à vapeur des plus ordinaires, et le nombre d'unités de chaleur dues à la combustion de la houille employée. Les bonnes machines, dans lesquelles la vapeur se détend, avant d'être rendue au condenseur, ne consomment pas plus de $3^k \frac{1}{2}$ de houille, par force de cheval et

par heure, et pour des machines de ce genre, le rapport du travail disponible au nombre d'unités de chaleur serait égal à 12,86, au lieu de 9 que nous avons adopté.

2° Si nous avons négligé les résistances passives de la machine soufflante, nous avons, d'autre part, négligé les résistances dues au passage de l'air à travers le foyer d'airage, résistances du genre de celles occasionnées, par le passage à travers un étranglement, au plus grand frottement que l'air chaud éprouve, en montant dans le puits, en raison de sa plus grande vitesse, à l'augmentation de densité de l'air qui a passé sur le foyer.

3° Nous avons fait une hypothèse exagérée, et favorable aux foyers d'airage, en supposant la température T égale à 25 degrés centigrades, et en prenant pour h' une profondeur de 400 mètres, supérieure à celle du plus grand nombre de puits de mines.

4° Nous avons supposé le calorique spécifique des gaz, qui s'élèvent dans le puits de sortie de l'air égal à 0,2669, comme si c'était de l'air atmosphérique pur; mais comme cet air contient, en quantité notable de la vapeur d'eau, dont la chaleur spécifique est beaucoup plus considérable, le coefficient 0,2669 est trop faible, ce qui tend à augmenter le rapport $\frac{M}{C}$.

5° Enfin, la machine soufflante serait placée tout près du puits P, et pourrait être construite, de manière à éviter la plupart des causes de pertes de force existantes dans les machines, qui ont été le sujet des observations publiées jusqu'à présent.

(M. d'Aubuisson, dans son mémoire sur les machines soufflantes à piston, employées dans les usines du sud-ouest de la France; *Annales des mines*, 1e s^e, t. II, p. 161, signale les nombreuses imperfections auxquelles est due, en partie, la perte énorme de force qu'il a constatée.)

Nous sommes donc autorisés à établir les principes suivants :

1° Dans toutes les circonstances de la pratique, les foyers d'airage ont, sous le rapport économique, un désavantage marqué sur des machines soufflantes, qui seraient mues par des machines à vapeur de médiocre construction, c'est-à-dire que le combustible brûlé sur le foyer d'airage, produirait plus d'effet utile, s'il était employé à mouvoir une machine soufflante bien construite, par l'intermédiaire d'une machine à vapeur.

2° Le désavantage des foyers d'airage est d'autant plus grand, que le puits, au bas duquel est établi le foyer, est moins profond, et que la température de l'air doit s'élever davantage, en passant sur ce foyer, c'est-à-dire, que la circulation doit être plus active.

3° Les foyers d'airage offriraient un désavantage énorme, dans le cas où ils seraient mal construits, et dans celui où l'air chaud ascendant serait exposé à des causes locales de refroidissement un peu puissantes, telles que des filtrations d'eaux froides.

13. Au lieu de faire circuler l'air, par le moyen d'une machine soufflante placée sur le puits P, on pourrait déterminer un courant, à l'aide d'une machine aspirante, placée sur l'orifice du puits P'. Si le jeu de la machine aspirante entretient la pression, sur l'orifice du puits P', à une pression p',

moindre que la pression atmosphérique extérieure $p_{,}$, le volume d'air débité, dans l'unité de temps, mesuré sous la pression $p'_{,}$, et à la température T, sera approximativement exprimé par :

$$V=\Omega\sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_{\circ}-p'_{,}}{q'_{,}}+h-h'\right)}{2 6\frac{\chi}{\Omega}(h+L+h')}};$$

le volume réduit à la pression $p_{,}$ sera égal à :

$$\frac{p'_{,}}{p_{,}}\Omega\sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_{\circ}-p'_{,}}{q'_{,}}+h-h'\right)}{2 6\frac{\chi}{\Omega}(h+L+h')}}=V';$$

le travail moteur nécessaire, pour mettre en jeu la machine aspirante, sera égal, abstraction faite de toutes les résistances passives, au travail exigé par la compression du volume V, depuis la pression $p'_{,}$ jusqu'à la pression atmosphérique $p_{,}$, c'est-à-dire à :

$$p'_{,}V\log.\frac{p_{,}}{p'_{,}},$$

et approximativement à :

$$V(p_{,}-p'_{,})=\frac{p_{,}}{p'_{,}}V'(p_{,}-p'_{,}).$$

Nous désignerons ce travail par M'.

Nous avons trouvé, pour l'expression du travail moteur nécessaire, pour faire passer dans les travaux une masse d'air, qui, mesurée sous la pres-

sion p_1, ait un volume V, au moyen d'une machine soufflante placée sur le puits P :

$$M = \frac{p_1}{p_0} V (P_0 - p_0).$$

Le rapport des quantités de travail M et M', correspondantes à des masses d'air égales, circulant dans la mine, à l'aide d'une machine soufflante, ou d'une machine aspirante, sera en conséquence :

$$\frac{M}{M'} = \frac{p'_1}{p_0} \times \frac{P_0 - p_0}{p_1 - p'_1},$$

P_0 et p'_1 étant des pressions déterminées, la première par l'équation (a) du paragraphe 11, la seconde par l'équation suivante.

$$(a') \qquad V = \frac{p'_1}{p_1} \Omega \sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_0 - p'_1}{q'_1} + h - h'\right)}{2\varepsilon \frac{\chi}{\Omega}(h + L + h')}}.$$

Élevant au carré les deux membres des équations (a) et (a'), et les divisant membre à membre l'une par l'autre, il vient :

$$\frac{p_1^2}{p'^2_1} = \frac{q_1}{q'_1} \times \frac{p_0 - p'_1 + (h - h')q'_1}{P_0 - p_1 + (h - h')q_1};$$

observant que, comme les températures sont supposées identiques, on a : $\frac{q_1}{q'_1} = \frac{p_1}{p'_1}$;

que d'ailleurs, au degré d'approximation auquel nous nous arrêtons :

$$p_0 = p_1 + q_1(h' - h).$$

L'équation précédente devient :

$$\frac{p_1}{p'_1}=\frac{p_1-p'_1+(q_1-q'_1)(h'-h)}{P_0-p_0}.$$

Or, en désignant par k un coefficient numérique égal à $\frac{1.3}{10330(1+0,00375t)}$, on a :

$$q_1=kp_1, \quad q'_1=kp'_1 :$$

d'où $q_1-q'_1=k(p_1-p'_1)$:

ainsi la valeur du rapport $\frac{p_1}{p'_1}$ devient :

$$\frac{p_1}{p'_1}=\frac{p_1-p'_1}{P_0-p_0}\Big(1+k(h'-h)\Big).$$

A cause de cette dernière relation, le rapport $\frac{M}{M'}$ devient :

$$\frac{M}{M'}=\frac{p'^2_1}{p_1p_0}\Big(1+k(h'-h)\Big).$$

D'ailleurs, comme

$$p_0=p_1+q_1(h'-h)=p_1\Big(1+k(h'-h)\Big),$$

ce rapport devient simplement :

$$\frac{M}{M'}=\frac{p'^2_1}{p^2_1}.$$

Ainsi, les quantités de travail nécessaires, pour faire circuler des masses d'air égales, dans une conduite, ou dans le développement des galeries d'une mine, en employant une machine aspirante et une machine soufflante, sont entre elles, comme le carré de la pression p'_1, est au carré de la pression atmosphérique p_1, qui existe sur l'orifice du puits de sortie de l'air. p'_1 étant nécessai-

rement plus petit que p_1, on voit que la machine soufflante est toujours préférable à une machine aspirante, sous le rapport de l'économie de la force motrice. L'avantage en faveur des machines soufflantes est d'autant plus grand, que la circulation doit être plus active, et que le développement total des travaux, que doit parcourir le courant, est plus considérable. V désignant, en effet, le volume d'air, qui doit sortir, dans une seconde, par l'orifice du puits de sortie, mesuré sous la pression p'_1, on tire de l'équation posée au commencement de ce paragraphe :

$$\frac{p'_1}{p_1} = \frac{g(1+k(h'-h))}{g\left(1+k(h'-h)\right)+k\,6\frac{\chi}{\Omega}(h+L+h')\frac{V^2}{\Omega^2}}$$

Ainsi, $\frac{p'_1}{p_1}$ diminue à mesure que V augmente. Néanmoins, l'avantage des machines soufflantes sur les machines aspirantes, est loin d'égaler l'avantage des machines soufflantes sur les foyers d'airage; car le rapport $\frac{p'_1}{p_1}$ demeure toujours petit, dans toutes les circonstances de la pratique.

14. C'est une opinion généralement accréditée, parmi les mineurs, que la ventilation se fait mieux, en aspirant l'air des excavations souterraines, qu'en lançant de l'air frais dans ces excavations. Cette opinion est fondée, sur l'expérience relative au cas, où il s'agit simplement de ventiler des galeries, des puits, ou d'autres excavations isolées, qui ne communiquent avec le jour que par un seul orifice.

La ventilation s'opère alors de la manière sui-

vante. On établit, le long d'une des parois de l'excavation, une conduite en bois ou en tôle, qui part du jour, et aboutit tout près du fond de l'excavation. Par cette conduite, dont la section est très-petite par rapport à celle de l'excavation, on aspire l'air intérieur, ou bien on injecte de l'air frais, à l'aide d'une machine établie près de l'orifice.

Dans le premier cas, le courant d'air, s'établit dans l'excavation même, de l'orifice au fond, et le courant en retour a lieu par la conduite; dans le second, l'air frais est amené par la conduite, et le courant en retour a lieu par l'excavation. Or, la section de la conduite étant très-petite par rapport à celle de l'excavation, il en résulte qu'il n'y a jamais qu'un courant peu rapide dans l'excavation, courant qui ne la remplit pas tout entière, et qui peut s'établir, seulement, dans une partie, tandis qu'il y a dans l'autre partie, soit stagnation de l'air, soit même des courants, en sens contraire du courant principal. Au contraire, dans la conduite étroite, il y a un courant doué d'une vitesse assez grande, dont l'existence, réunie à l'uniformité de section, exclut la stagnation partielle et les contre-courants.

Là réside l'unique cause de l'avantage, signalé par l'expérience, des machines aspirantes sur les machines soufflantes, dans les circonstances dont il s'agit. En effet, si la machine est aspirante, il suffira de faire plonger l'extrémité ouverte de la conduite, dans cette partie du fond de l'excavation, où les gaz irrespirables tendent à s'accumuler, en raison de leur pesanteur spécifique, pour que ces gaz entrent dans la conduite, et une fois entrés, soient entraînés au dehors. Si au contraire

la machine souffle de l'air frais dans la conduite, celui-ci arrivera bien au fond de l'excavation; mais si la quantité d'air lancée n'est pas assez grande pour que le courant, en retour, dans l'excavation, soit un peu rapide, ce courant en retour ne remplira pas toute la section de l'excavation, et pourra ne pas déplacer les gaz irrespirables; ou bien, après les avoir seulement déplacés, ceux-ci pourront revenir à l'extrémité de l'excavation, en se mouvant en sens inverse du courant principal, si leur pesanteur spécifique est différente de celle de l'air, et si cette différence tend précisément à leur imprimer un mouvement, en sens inverse de celui du courant. C'est ainsi que l'acide carbonique serait très-difficile à expulser du fond de puits verticaux, et l'hydrogène protocarboné, du bout des excavations creusées en montant, par le moyen de machines soufflantes, tandis que le but serait bien atteint par des machines aspirantes.

Il est clair que ces raisonnements ne sont plus applicables, à l'ensemble des travaux d'une mine étendue, qui communique au jour, par deux puits ou galeries de sections à peu près égales, ni même au cas où une excavation isolée serait divisée, pour l'airage, par une cloison, en deux compartiments d'égale section, dont l'un contiendrait le courant allant au fond des travaux, et l'autre le courant en retour. C'est donc à tort que l'opinion de la supériorité, dans tous les cas, des machines aspirantes sur les machines soufflantes, pour la ventilation des mines, s'est répandue parmi les mineurs, et même parmi les ingénieurs. Il est certain, au contraire, ainsi que nous l'avons démontré, que les machines soufflantes ont, toutes choses égales

d'ailleurs, un petit avantage sur les machines aspirantes, sous le rapport de l'économie de la force motrice, et doivent être par conséquent préférées, sauf le cas de circonstances analogues à celles que nous avons signalées avec détail.

15. Si les inconvénients des foyers d'airage se bornaient à une dépense plus grande de combustible, il n'y aurait là qu'un faible désavantage, qui serait souvent plus que compensé par le peu de dépense qu'exige l'établissement et l'entretien d'un foyer, comparativement aux frais de construction, d'entretien, et surtout d'installation d'une machine, ou même par la mauvaise construction de la machine. Malheureusement ce désavantage est le moins grave de tous dans les mines de houille, où il y a dégagement de gaz inflammable, et dans lesquelles une ventilation active est d'une indispensable nécessité, pour la sûreté des ouvriers et de la mine elle-même. Ici la présence du foyer est elle-même une cause prochaine de danger. Il peut en effet arriver que le courant d'air, arrivant sur le foyer d'airage, et destiné à l'alimenter, contienne assez de gaz inflammable pour être explosif. (Il suffit pour cela que ce gaz entre pour plus de $\frac{1}{14}$ en volume, dans le courant d'air qui arrive sur le foyer.) On emploie beaucoup de précautions, dans les mines bien dirigées, pour prévenir un pareil accident. Ainsi, dans les mines du nord de l'Angleterre, le courant d'air qui circule dans la partie des travaux, où le dégagement de gaz inflammable est le plus abondant, est complétement isolé du courant, qui circule dans les autres parties de la mine, et ce courant d'air surchargé de gaz hydrogène carboné ne vient pas passer sur le foyer, mais débouche

dans le puits de sortie de l'air, à une hauteur assez grande, au-dessus du foyer, pour qu'il ne soit pas exposé à s'enflammer. Malgré cette précaution, la rupture d'une des portes qui isolent les deux courants, ou un dégagement subit et imprévu d'une grande quantité d'hydrogène carboné, dans la partie des travaux regardée comme *saine*, peut occasionner des accidents.

Dans d'autres mines, on a voulu échauffer l'air, en le faisant circuler autour d'un foyer, dont la combustion était alimentée par l'air extérieur, ou par un courant de vapeur, dérivé des chaudières d'une des machines, faisant le service de l'extraction, ou de l'épuisement.

Il est inutile de dire que, pour des effets équivalents, ces moyens doivent occasionner une dépense de combustible, beaucoup plus considérable que les foyers ordinaires, convenablement construits, et traversés par le courant d'air lui-même. Ils exigent d'ailleurs, surtout le chauffage par la vapeur, des dispositions compliquées qui sont un nouveau motif, pour ne point en faire usage.

Enfin, tous les moyens de ventilation qui ont pour base l'échauffement de l'air, ont un vice capital, et qui devrait suffire pour les faire rejeter complétement, dans le cas où l'on a à se préserver des dangers que fait naître la présence du gaz inflammable.

Dans le cas, en effet, où une explosion partielle a eu lieu, sur quelque point de la mine, la circulation de l'air est tout à coup interrompue, et les travaux se remplissent, en totalité, ou en très-grande partie, de fumée, et de gaz irrespirables, résidus de la combustion, qui asphyxient les malheureux ouvriers, que l'explo-

sion n'a point atteints. C'est un fait bien constaté et connu de tous les mineurs, que, dans des cas d'explosion, il périt incomparablement plus d'ouvriers par asphyxie, à la suite de l'explosion, que par l'explosion même. A la suite d'un pareil accident, il est donc de la plus haute importance, d'activer le courant d'air, pour expulser les gaz irrespirables, et pénétrer rapidement dans la mine, afin de secourir ceux qui s'y trouvent. Or, si la mine est ventilée par un foyer d'airage, on se garde bien, dans le cas même où il est possible d'arriver à ce foyer, d'activer la combustion; on craindrait avec raison de faire arriver une seconde explosion : on éteint plutôt tout à fait le foyer. Si l'air est échauffé par la vapeur ou par un foyer alimenté avec de l'air extérieur, il n'est pas possible d'obtenir instantanément une température de l'air plus élevée, et par conséquent d'activer immédiatement la circulation. On voit donc l'avantage immense que présentent, dans cette circonstance, les machines soufflantes ou aspirantes établies au jour, surtout lorsque l'on peut disposer d'une force motrice suffisante, pour les faire fonctionner avec plus de vitesse. Avec le secours de ces machines, la circulation est immédiatement rendue plus rapide. Des ouvriers peuvent descendre dans la mine, par le puits d'entrée de l'air, sans crainte d'être asphyxiés, pour porter à ceux qui vivent encore les secours nécessaires, et rétablir les voies interceptées par les accidents, suite de l'explosion.

Le motif sur lequel nous insistons ici est d'une extrême gravité. Dans les mines du nord de l'Angleterre, qui sont d'ailleurs toutes ventilées par des foyers d'aérage, on est quelquefois obligé

d'improviser une machine soufflante, et l'on jette, quand on en a la possibilité, dans le puits d'entrée de l'air, un petit cours d'eau qui agit à la manière des trompes, mais des trompes mal construites. Ce moyen paraît, d'après les dépositions recueillies par le comité d'enquête de la chambre des communes, être généralement employé dans ce pays, lorsque l'imminence du danger oblige à éteindre le foyer d'airage. L'eau jetée ainsi dans la mine doit ensuite être épuisée par les machines.

Si l'on disait que les explosions sont assez violentes pour détruire et renverser les machines établies à l'orifice des puits, nous répondrions que pour une explosion générale qui fait éruption au dehors, et détruit les constructions établies à l'orifice des puits, il y a beaucoup d'explosions partielles dont l'effet est restreint à une partie plus ou moins étendue des travaux.

Même, dans le cas le plus grave, celui d'une explosion générale, on peut avoir des machines d'une construction et d'une installation assez faciles, pour qu'elles puissent, dans un temps très-court, être mises en état de fonctionner.

16. J'ai fait voir (paragraphe 13) que les machines soufflantes avaient un petit avantage sur les machines aspirantes, sous le rapport de l'économie du travail nécessaire, pour faire circuler dans la mine, une masse d'air déterminée. Il y a encore, pour la première espèce de machines, un second motif de préférence, que nous signalerons ici, non pas comme étant très-grave, en lui-même, mais parce qu'il se rattache à un fait d'une haute importance, savoir les circonstances qui influent sur l'abondance du dégagement du

gaz inflammable, et des autres gaz qui s'écoulent par des fentes, ou sortent des cellules des masses exploitées, ou des roches encaissantes.

Il est un fait constaté par de nombreuses observations, dont il est d'ailleurs facile d'assigner la cause, c'est que les variations de la hauteur du mercure, dans le baromètre, sont suivies d'une variation dans l'abondance des gaz, hydrogène carboné, ou acide carbonique qui se développent, dans les galeries et sont délayés par le courant d'air. L'abondance de ces gaz augmente, quand le baromètre baisse, et diminue, quand le baromètre hausse. Ce fait est connu de tous les mineurs qui ont exploité des mines de houille sujettes au *grisou*; ils savent bien que la mine devient plus dangereuse par un temps d'orage, qu'elle ne l'est habituellement. Toutefois il ne sera pas inutile de rapporter les détails fournis, sur ce sujet, par les nombreux ingénieurs, qui ont été entendus par la commission d'enquête de la chambre des communes.

Je rappellerai d'abord que M. Buddle, dans un mémoire sur une explosion de gaz, survenue, le 3 août 1830, dans la houillère de Jarrow, (transactions of the society of Northumberland, Durham and Newcastle upon Tyne), a dit que les variations de la pression atmosphérique avaient une influence très-marquée, sur le dégagement du gaz inflammable. Le nº 13 du 1er semestre de 1836 des comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, contient l'analyse succincte de cette partie du mémoire de M. Buddle. D'un autre côté, l'expérience prouve que le gaz inflammable peut se dégager des pores de la houille, sous une pression très-

considérable. Le n° 21 des mêmes comptes rendus contient une note sur le dégagement de gaz qui avait lieu, dans la couche de houille de Latour (département de la Loire), sous une pression de plus de 10 mètres d'eau qui s'ajoutaient à la pression atmosphérique. Les témoignages recueillis par le comité d'enquête confirment tous le fait de l'influence de la pression atmosphérique, sur le dégagement du gaz; on y trouve aussi un fait très-saillant sur un dégagement abondant qui avait lieu, sous une très-forte pression.

George Johnson rend compte d'un accident survenu dans la mine de Wilmington, en septembre 1831. Quatre hommes et quatre enfants furent tués, et sept ouvriers grièvement blessés. Le gaz, qui s'enflamma, ne venait pas de la couche alors exploitée et désignée par le nom de *high main coal seam*, mais de la couche *Bensham*, située à une distance verticale de 38 *fathoms*, au-dessous de la première. On rencontra, dans la couche Bensham, à laquelle on était arrivé par un puits intérieur (*a staple*) foncé, à une petite distance du puits principal, un soufflard très-considérable, que l'on conduisit dans le courant d'air de la couche supérieure. L'énorme quantité de gaz fournie par ce soufflard, décida le directeur Johnson à suspendre les travaux entrepris dans la couche Bensham, et à les laisser s'inonder. Le niveau de l'eau s'élevait à 13 *fathoms* au-dessus de cette couche, dans le puits intérieur dont il a été parlé, lorsqu'une irruption de gaz traversa cette masse d'eau et occasionna l'accident. Johnson jugea alors convenable d'isoler complétement la couche Bensham des travaux supérieurs; à cet effet, il couvrit le puits inté-

rieur d'un chapeau en fer, auquel il adapta un tuyau également en fer, de 3 pouces de diamètre, qui se prolonge dans le puits principal jusqu'au-dessus du sol, et qui conduit à la surface le gaz qui se dégage. On allume, chaque nuit, ce jet de gaz qui brûle avec une flamme brillante, haute d'un yard environ, et sert à éclairer les ouvriers occupés près de l'orifice du puits. Le jet de gaz a duré continuellement depuis 1831 jusqu'à 1835 (époque de l'enquête), et l'on ne dit pas que l'abondance du gaz ait diminué; du reste, on n'a point jaugé le volume sortant par le tuyau. (*Report on accidents in mines*, p. 84 et 85.)

Anthony Whinsipp, *wasteman* (ouvrier chargé de surveiller ce qui est relatif à la ventilation), attaché aux mines de lord Durham, déclare que l'opinion générale des hommes de sa profession, est que le gaz inflammable devient plus abondant dans les mines par le vent du sud (*Report*, etc., p. 34).

M. Georges Stephenson confirme l'assertion d'Anthony Whinsipp, et ajoute que le vent de sud est toujours accompagné de l'abaissement du mercure, dans le baromètre. Il croit que presque tous les accidents dus aux explosions de gaz, sont arrivés, lorsque le baromètre était très-bas, et pense qu'il serait utile de placer au fond de la mine, un bon et grand baromètre, qui serait consulté par les *wastemen*. Il rapporte qu'il a eu occasion d'observer plusieurs soufflards qui émettaient des quantités considérables de gaz, quand le baromètre était bas, et qui absorbaient au contraire l'air atmosphérique, lorsque le baromètre était haut. Cette expérience a été faite, entre autres, sur un soufflard qui a duré dix ans

à peu près, et s'est ensuite épuisé (*Report*, etc., p. 110 et suiv.).

M. Nich. Wood s'exprime ainsi : « L'abaissement du mercure dans le baromètre, occasionne un changement considérable dans la quantité de gaz qui se répand dans les travaux; si le baromètre monte, le gaz rentre dans les vieux travaux (*withdraws to the old workings*), et ne se répand pas au dehors en aussi grande quantité; la direction du vent a aussi quelquefois une influence, sans qu'elle soit accompagnée de l'abaissement du mercure dans le baromètre. » (*Report*, p. 54.)

L'explication suivante nous paraît rendre un compte satisfaisant des deux ordres de faits constatés par les divers observateurs. D'une part, dans toutes les mines de houille dont les travaux sont déjà anciens, et ont une assez grande étendue, notamment dans les mines du nord de l'Angleterre, il existe des vides considérables formés par les galeries et chantiers abandonnés que l'on a laissé s'ébouler, après avoir enlevé tout ce qu'il était possible de prendre sans danger. On isole ces espaces vides, par des cloisons ou des digues, du reste des travaux : mais les mouvements du terrain qui surviennent, après l'enlèvement de la houille, ont bientôt produit, dans ces cloisons, des fissures ou fentes qu'il est impossible de prévenir, ou même de boucher, quand elles ont eu lieu. Ainsi, malgré tous les soins possibles, les espaces vides des vieux travaux ne sont qu'incomplétement isolés des travaux neufs. Ces vides sont remplis de gaz inflammable qui arrive, soit des fronts de houille intacts par lesquels ils sont limités, soit par les fissures du toit ou du sol que

les mouvements du terrain ont amenées. Le gaz y est accumulé sous une pression égale, ou peu supérieure à celle qui a lieu, dans les galeries voisines, où circule le courant d'air. S'il arrive maintenant que la pression vienne à diminuer, même d'une petite quantité dans ce courant, le gaz contenu dans les vieux travaux s'épanchera abondamment, par les fissures, dans le courant d'air qui circule dans les galeries voisines, et surchargera cet air au point quelquefois de le rendre explosif. Le dégagement surabondant de gaz ira toutefois en diminuant, à mesure que la pression diminuera dans le vaste réservoir formé par les vieux travaux, de telle sorte que si la pression demeurait invariablement fixée, pendant très-longtemps, le dégagement de gaz serait à peu près ce qu'il était avant, sous une pression plus élevée du courant; la masse de gaz contenue dans les vieux travaux aurait pris une pression telle que la masse du gaz sortant au dehors par les fentes des digues, fut égale à la masse fournie par les pores de la houille, ou les fissures de la roche, masse qui probablement ne varie pas beaucoup, pour une faible variation de la pression extérieure. Mais si le baromètre vient à monter, la pression, dans le courant d'air qui passe devant les vieux travaux, augmentera avec la pression extérieure, et deviendra supérieure à celle qui s'était établie dans la masse de gaz enfermé dans les vieux travaux. Alors le gaz cessera de sortir des vides où il est enfermé, et ce sera au contraire l'air de la mine qui entrera dans les vieux travaux par les fentes des digues. C'est là le phénomène observé par M. Stephenson, sur des soufflards, qui, sans doute, communiquaient avec de grandes cavités remplies

de gaz. Cela justifie aussi, en partie, l'assertion de M. Wood, que, quand le baromètre monte, *le gaz rentre dans les vieux travaux* : seulement il faut dire que ce n'est pas le gaz, mais le courant d'air lui-même qui y entre, tandis que le gaz n'en sort point. Puis quand le baromètre baissera de nouveau, il pourra sortir des vieux travaux, non pas du gaz pur, mais un mélange d'air et de gaz, qui sera dans des proportions variables, suivant l'étendue des variations de pression atmosphérique, et la durée pendant laquelle elles se seront maintenues. Ce mélange pourra être dans les proportions nécessaires, pour être explosif, et le danger sera alors le plus grand possible.

Ce que nous venons de dire des vieux travaux des mines de houille du nord de l'Angleterre, dans lesquelles on n'exécute point de remblais, et où on laisse les éboulements se faire naturellement, quand on a enlevé la houille, s'applique aussi aux couches peu puissantes de la Belgique et du département du Nord, que l'on exploite par grandes tailles, en rejetant derrière soi les matières stériles, les pierres détachées du toit ou du sol, qui forment ainsi un remblai destiné à soutenir le toit des excavations. La masse de ce remblai est, en effet, remplie de vides, communiquant entre eux, dont l'ensemble forme de vastes réservoirs, lesquels se remplissent, soit d'hydrogène carboné, soit de gaz acide carbonique, suivant que l'un ou l'autre de ces gaz se développe, dans les travaux. Les mêmes phénomènes doivent donc avoir lieu ici, et cela est en effet conforme aux observations faites.

Enfin, des faits analogues peuvent arriver, même, sans qu'il y ait de vieux travaux, dans une

mine, pour peu qu'elle renferme des soufflards, ou que les fronts de masses à découvert soient étendus. En effet, on peut concevoir une couche de houille comme un assemblage d'un nombre infini de tubes infiniment étroits, ou de cellules communiquant entre elles, dans lesquelles le gaz est contenu, sous une pression très-considérable. Lorsque la houille est à découvert, le gaz s'écoule par les orifices des tubes, ou des cellules, et si la pression extérieure était constante, et très-inférieure à la pression intérieure du gaz, dans les tubes ou cellules, la masse de gaz sortante serait à peu près la même, pour des pressions constantes, qui ne différeraient entre elles que d'une fort petite fraction de la pression intérieure, comme cela a lieu pour les diverses pressions atmosphériques. Mais comme la pression du gaz sortant serait égale à la pression extérieure, dans le plan des orifices d'écoulement, et irait ensuite en croissant, à partir de ces orifices et en s'enfonçant dans le massif de houille intacte, il en résulte que si, lorsque le dégagement est réglé, la pression extérieure vient à varier, même très-peu, il y aura une variation *temporaire* dans la quantité de gaz qui se dégage. Si la pression extérieure augmente, le dégagement de gaz sera momentanément suspendu : si elle diminue, il y aura accroissement sensible dans le dégagement.

Ainsi, dans tous les cas, ce n'est pas la grandeur absolue de la pression extérieure qui influe d'une manière considérable, et permanente sur l'abondance du dégagement de gaz; mais ce sont les variations de pression extérieure qui ont sur ce dégagement une influence, temporaire, il est vrai, mais extrêmement marquée; de sorte que la mine

se remplit de gaz, dans les premiers instants qui suivent la chute du mercure dans le baromètre, et si la pression demeure peu élevée, pendant plusieurs jours de suite, le dégagement cesse néanmoins d'être aussi abondant, au bout d'un temps variable avec l'étendue des vieux travaux, ou d'autres circonstances locales. Ce sont donc les variations de pression, dans le courant d'air qui circule dans les travaux, qu'il importe d'éviter, ou du moins de resserrer entre les limites les plus étroites qu'on pourra.

Or, l'emploi des machines soufflantes permet de maintenir les variations de pression intérieure, entre des limites plus resserrées, que l'emploi des machines aspirantes, tout en satisfaisant à la nécessité d'activer la ventilation, lorsque le baromètre baisse. En effet, il est clair que, lorsque la circulation de l'air est déterminée par le jeu d'une machine soufflante, la pression de l'air en mouvement, en un point quelconque de la voie d'airage, est plus grande que la pression qui aurait lieu, au même point, dans l'état d'équilibre, si la circulation était suspendue, en vertu seulement du poids des couches d'air supérieures. Ainsi, si on appelle P cette dernière pression, qui aurait lieu dans l'état d'équilibre, en un point quelconque de la voie d'airage, P_1 la pression qui a effectivement lieu, dans l'état de mouvement de l'air, déterminé par le jeu d'une machine soufflante, l'on aura : $P_1 - P > 0$; et plus le courant sera rapide, plus la différence $P_1 - P$ devra être considérable. Si la pression atmosphérique extérieure vient à baisser, la pression intérieure P qui aurait lieu, dans l'état d'équilibre, baisserait aussi, et deviendrait égale à une certaine valeur

P' plus petite que P. La pression réelle qui a lieu dans le courant deviendrait aussi différente de $P_,$ et égale à $P'_,$. Mais, dans le cas où la pression atmosphérique baisse, il faut activer la circulation d'air, par les motifs développés plus haut. Il faudra donc, pour la nouvelle valeur P' plus petite que P, que la différence $P'_, - P'$ soit $> P_, - P$. Or, de cette inégalité, on conclut que $P - P'$ est $> P' - P'_,$, c'est-à-dire que, lorsque le courant d'air est déterminé par une machine soufflante, et que l'on active le courant d'air, dans le cas où la pression atmosphérique diminue, la variation $P' - P'_,$ de la pression intérieure du courant d'air, en un point quelconque du trajet, est moindre que la variation correspondante $P - P'$ des pressions qui auraient lieu, au même point, dans l'état d'équilibre.

C'est précisément l'inverse qui a lieu, si la circulation d'air est déterminée par le jeu d'une machine aspirante, ou par un foyer d'airage. En effet, alors la pression intérieure, en un point quelconque du courant, est nécessairement plus petite que la pression qui aurait lieu, au même point, dans l'état d'équilibre, et la différence de ces deux pressions est d'autant plus grande, que le courant d'air est plus rapide. Ainsi, P désignant toujours la pression correspondante à l'état d'équilibre, en un point donné du trajet du courant d'air, et $P_,$ la pression qui a lieu réellement dans le courant d'air, on aura : $P_, - P < 0$.

Si P diminue et devient égal à P', et si on veut activer davantage le courant d'air, comme cela convient, il faudra que la différence $P' - P$ soit plus grande que $P - P_,$, d'où l'on conclut que $P_, - P'_,$ est $> P - P'$.

Ainsi, on a la double inégalité :

$$P_{,} - P'_{,} > P - P' > P_{1} - P'_{1};$$

c'est-à-dire que les variations de la pression intérieure doivent être supérieures à la variation P — P', dans le cas des machines aspirantes, et inférieures, dans le cas des machines soufflantes, ainsi que nous l'avons énoncé.

Ceci est donc encore un motif de préférer, pour la ventilation, les machines soufflantes; néanmoins, les variations atmosphériques ayant lieu entre des limites beaucoup plus étendues, que les différences entre les pressions, dans l'état d'équilibre, et dans l'état de mouvement déterminé par le jeu des machines, il ne faudrait pas conclure de ce qui précède, que l'on ne doit jamais faire usage, pour la ventilation des mines, de machines aspirantes. Leur usage, dans certaines circonstances, peut être beaucoup plus commode que celui des machines soufflantes, et il ne faut pas alors hésiter à s'en servir. Seulement il était utile de faire voir que ces dernières machines, qui sont généralement regardées comme inférieures aux premières, ont au contraire quelques avantages sur elles.

Nous n'entrerons pas ici dans de plus longs détails sur la distribution intérieure de l'air dans les mines, et sur la construction des machines qui peuvent être substituées aux foyers; nous traiterons ce sujet, avec tous les détails qu'il comporte, et en nous appuyant sur des observations particulières recueillies dans les mines de la Belgique et du département du Nord, dans un autre mémoire.

De l'état de la fabrication du fer, et de l'avenir des forges en France et sur le continent de l'Europe;

Par M. GUÉNYVEAU, Ingénieur en chef et Professeur de minéralurgie à l'École royale des mines de Paris.

DEUXIÈME PARTIE (1).

DE LA FABRICATION DU FER EN BARRES, AVEC DIVERSES ESPÈCES DE FONTES, ET PAR DIFFÉRENTS PROCÉDÉS.

La fabrication du fer en barres, qui consiste toujours (excepté dans les forges à la catalane) dans l'affinage de la fonte, doit être dirigée suivant deux points de vue assez distincts, quoiqu'ils soient dans une dépendance mutuelle : une grande économie dans les frais de fabrication, ce qui tend à abaisser le prix de revient; et la meilleure qualité du fer, ce qui tend à en élever le prix de vente.

La nature, et surtout le degré de pureté de la fonte que l'on convertit en fer, et qui dépend elle-même de la composition des minerais qui l'ont produite, est un des points les plus importants, lorsqu'on veut fabriquer de bon fer; et la fonte au charbon de bois obtiendrait presque toujours la préférence pour cet usage, si elle n'était généralement bien plus chère que celle formée dans les fourneaux à coke; mais cette importance, attribuée à la qualité de la fonte, suppose que le combustible avec lequel le métal se trouvera en contact, dans le cours des opérations de

(1) Voir, pour la première partie du mémoire, la page 259.

l'affinage, ne contiendra lui-même aucune substance nuisible : ici encore, le charbon de bois est le seul qui remplisse toujours cette condition. Quand on veut affiner la fonte (même celle au coke), avec du combustible minéral, houille ou tourbe, il faut éviter ce contact, du moins dans les circonstances où il est le plus nuisible, et c'est principalement en cela que la méthode d'affinage dite *anglaise*, diffère de l'ancien affinage, dans les feux d'affinerie, au charbon de bois. On sait d'ailleurs que, sous le rapport de la qualité, le fer fabriqué par ce dernier procédé, est resté bien supérieur à celui obtenu par les nouvelles méthodes, surtout lorsqu'on a employé de la fonte au charbon de bois.

Ainsi, la qualité du fer, que l'on obtiendra d'une fonte donnée, dépendra toujours, sans doute, plus ou moins, de sa composition, mais aussi du mode d'affinage qui aura été suivi, et en outre de diverses pratiques ou manipulations exécutées convenablement, et variées selon la nature des fontes et les substances étrangères qu'elles renferment.

Quand la fonte est pure, il n'y a aucune difficulté à en obtenir de bon fer, pourvu que le contact du combustible ne le gâte pas ; si elle est médiocre, il y a quelques moyens, à la vérité plus ou moins imparfaits et dispendieux, d'en obtenir un fer assez bon : tantôt il suffit de donner plus de soin à l'exécution des opérations, tantôt il faut pour quelques-unes de celles-ci, en prolonger la durée; d'autres fois enfin, il faut les répéter plusieurs fois, sur la même masse de métal; mais, de ces diverses pratiques, il résulte toujours une dépense plus considérable, qu'en se

bornant au travail ordinaire : la consommation en combustible, le déchet sur le fer, et les frais de main-d'œuvre, augmentent en même temps; de sorte que le prix de revient s'élève rapidement, à mesure que l'on cherche à améliorer la qualité du fer, en affinant des fontes médiocres ou mauvaises; pour les plus mauvaises, il y aurait même peu de chose à gagner sur la qualité, et l'avantage ne serait pas compensé par les sacrifices qu'on serait obligé de faire.

On sait, au reste, depuis longtemps, que la première et la plus importante des conditions à remplir pour se procurer de bon fer malléable, c'est de travailler sur de bonne fonte; il faut qu'elle soit complétement exempte des substances reconnues pour être les plus nuisibles à la qualité du fer, et que nos méthodes d'affinage n'en séparent qu'imparfaitement; elle ne doit donc contenir que du carbone, en combinaison. On conçoit, d'après cela, qu'il y ait, pour chaque espèce de fonte, pour chaque espèce de combustible employé, comme pour chaque mode d'affinage dont on jugera convenable de se servir, un degré dans la qualité du fer, qu'il faut chercher à atteindre, mais qu'on ne pourrait dépasser sans inconvénient, parce que la fabrication cesserait alors d'être avantageuse. C'est une question assez compliquée, et qui doit être examinée, dans chaque forge ou dans chaque groupe d'usines, puisqu'elle dépend de circonstances locales : elle est d'une grande importance, à cette époque, et dans nos contrées, à cause de la lutte et de la concurrence qui se sont établies entre les produits des usines à l'anglaise et ceux des forges qui emploient en partie ou en totalité du combustible végétal.

Trois modes de fabrication du fer, employés en France.

Diverses méthodes sont employées pour la fabrication du fer en barres, et quelquefois en concurrence, dans les usines peu éloignées, et sur la même espèce de fonte; de sorte que les produits qu'on en obtient sont nécessairement comparés les uns aux autres, sous les rapports des *prix de revient*, et respectivement de leurs qualités, qui règlent les prix de vente. Or, c'est précisément du choix des procédés d'affinage, les mieux appropriés à la nature des fontes et à l'espèce de combustible que l'on peut se procurer, à un certain prix, que dépend actuellement la prospérité des forges (même des plus anciennes), soit que l'on considère chacune d'elles en particulier, soit qu'on les prenne dans leur généralité.

Nous pouvons réduire à trois genres les divers modes de fabrication en usage actuellement (1) :

1° L'affinage de la fonte avec le charbon de bois, dans les anciens feux : on ne l'emploie guère que pour des fontes fabriquées elles-mêmes au charbon de bois (2);

2° L'affinage suivant la méthode anglaise, pour lequel on n'emploie que du combustible minéral : cette méthode n'est appliquée, dans toutes ses parties, qu'à la fonte au coke;

3° Enfin, une méthode mixte, ou qui participe des deux précédentes, et pour laquelle on ne

---

(1) En exceptant toujours le traitement de certains minerais de fer, pour en obtenir immédiatement du fer, ou de l'acier en barres.

(2) Il y a quelques exemples de fonte au coke affinée au charbon, dans la Silésie prussienne; mais cela est fort rare.

consomme que de la houille, en opérant toujours sur de la fonte au charbon de bois.

Cette dernière, comme étant la plus nouvelle et la plus propre à conserver la qualité des fers provenant des fontes au charbon de bois, tout en n'employant dans l'affinage que des combustibles minéraux, et devant, par ces motifs, remplacer presque partout le procédé des feux d'affinerie, mérite de nous occuper plus que toutes les autres; elle est moins connue, et peut-être aussi est-elle le plus susceptible de perfectionnement, bien qu'elle soit très-avantageusement employée en Champagne, où elle a pris naissance, ce qui lui a fait donner le nom de *méthode champenoise* (1).

---

(1) Chacun des trois modes de fabrication dont on vient de parler, subit des modifications dans certaines forges, de sorte que l'on pourrait distinguer diverses espèces de fer en barres, d'après leur origine, ainsi qu'il suit :

a) Les fers fabriqués avec du charbon de bois, et provenant des fontes obtenues avec ce même combustible.

b) Ceux qui sont fabriqués avec la houille, et en affinant des fontes au charbon de bois. Ici il y aurait une sous-division à établir, afin de distinguer entre eux : α) les fers provenant d'un affinage au fourneau à réverbère, mais qui ont été étirés en barres au moyen du marteau ; β) ceux, dont l'affinage ayant été opéré de la même manière, ont ensuite été façonnés en barres par les cylindres lamineurs. On pratique quelquefois le corroyage dans ce dernier mode de fabrication (et même deux fois, si on le juge nécessaire pour avoir de fort bon fer), mais non le mazéage de la fonte. Dans le procédé précédent (α) on ne pratique jamais le corroyage.

c) Enfin, les fers fabriqués à la houille, avec des fontes au coke : c'est le procédé anglais complet, dans lequel on trouve, et comme indispensables, le mazéage de la fonte,

§ Ier. *De la fabrication du fer en barres, avec le charbon de bois.*

L'affinage dans les feux d'affinerie, qui n'est employé que pour des fontes au charbon de bois, est une méthode fort ancienne qui atteint bien son but, et qui produit du fer de bonne qualité, lorsque les ouvriers sont bien exercés, et très-attentifs aux détails de l'opération. Ce qui le distingue principalement des autres modes de décarburation de la fonte, c'est que le métal s'affine et reste en contact avec le combustible, et qu'il est d'ailleurs, pendant l'opération, soumis à l'action d'un courant d'air forcé, dont la puissance d'oxidation doit être supérieure à celle des flammes sortant de la chauffe d'un fourneau à réverbère. Jusqu'à ces derniers temps, cette manière de convertir la fonte en fer forgé, n'avait pas éprouvé de modifications bien importantes, et les différences qu'on observait dans les pratiques usitées dans les diverses forges, semblaient dépendre aussi souvent des habitudes prises par les ouvriers, que de la nature de la fonte employée : on en peut voir le détail dans le *Manuel* de M. Karsten. S'il résultait quelquefois, et de certaines manipulations, une meilleure qualité de fer, quelques-unes de ces manières d'affiner entraînaient aussi une très-grande consommation de combustible, et elles ont dû être remplacées par d'autres plus

le cinglage au marteau frontal ou aux cylindres, le corroyage et l'étirage aux cylindres. Pour obtenir du fer, on ne consomme alors pas d'autre combustible que de la houille et du coke.

économiques : c'est ce qui est arrivé, par exemple, pour l'affinage Bergamasque, seul pratiqué, il y a trente ans, dans le Dauphiné, la Savoie, le Valais, etc., et auquel on a substitué généralement la méthode allemande dite *affinage comtois*.

Mais ce dernier procédé présente lui-même quelques différences dans la manière de le pratiquer, et elles portent principalement sur la quantité de fonte que l'on affine à la fois, ce qu'on appelle *le poids des loupes* que l'on forme, et sur la rapidité de l'affinage. Ces circonstances peuvent tenir à la nature des fontes employées, au degré de pureté où elles sont, et enfin à l'espèce de substance nuisible qu'il s'agit d'en séparer ; malheureusement ce sont toujours les causes qui demeurent inconnues et cela retarde singulièrement les progrès de la métallurgie : je me bornerai donc à présenter un exemple du fait dont il s'agit, d'après ce que j'ai vu dernièrement.

Dans les forges du grand duc de Bade (*Hausen*, *Wehr* et *Albrück*), on pratique l'affinage allemand, sur des quantités de fonte bien plus considérables qu'il n'est généralement d'usage de le faire en France et dans d'autres parties de l'Allemagne : ainsi, on affine à la fois 150 kilogrammes de fonte, tandis que chez nous les loupes ne sont que de 50 à 60 ou 70 kilogrammes ; on sait même qu'il y a des forges où la loupe ne pèse pas plus de 25 ou 30 kilogrammes. Il est vrai que la durée de l'opération est en raison de la masse à affiner ; de sorte que, dans le pays de Bade, l'affinage dure de trois et demi à quatre heures, et quelquefois plus ; dans nos forges, c'est seulement une heure et demie ou une heure trois quarts ; et, en définitive, le

produit journalier est plus considérable dans ces dernières, parce qu'on y affine plus rapidement.

Mais, ce qui est important, c'est que le déchet sur la fonte est extrêmement faible dans les usines du pays de Bade; il ne dépasserait guère 20 p. 100, au lieu de 26, 28 ou 30 qu'on observe ailleurs (1). Si les indications qu'on m'a données, dans les trois usines citées, sont exactes (et il en est de même à la forge de Laufen, près de Schaffouse), les affineurs, pour 100 livres de fonte qu'on leur livre, rendent 80, 85, et même 88 livres de fer en grosses barres (2): ce sont des fontes grises de bonne qualité.

L'emploi qu'on a fait de l'air chaud pour l'affinage n'a point changé sensiblement ces résultats. Quant à la consommation en charbon (de bois résineux), il est difficile de la comparer à celle qui a lieu chez nous, mais il ne paraît pas qu'elle soit plus considérable que celle-ci, en prenant les combustibles au poids. Si ces faits sont exacts, comme j'ai tout lieu de le croire, il serait bien utile d'en rechercher les causes, en se livrant à une étude minutieuse des procédés.

---

(1) M. Karsten indique 28 $\frac{1}{3}$ pour les usines royales de Prusse, et 25 ou 26 comme un *minimum*. Voyez le tome III, pag. 99, de la traduction du *Manuel de la métallurgie du fer*.

(2) Dans l'usine de Schaffouse, on affine des fontes blanches produites avec l'air chauffé, dans le fourneau de Plons, près de Sargans; la même manière de procéder à l'affinage donne les mêmes résultats. Ce très-faible déchet a déjà été signalé par M. Combes, ingénieur en chef, dans les *Annales des mines*, 3ᵉ série, tome VI, pag. 463. Il indique 17 $\frac{1}{2}$ p. 100, et la consommation en charbon de sapin est de 8 mètres cubes, avec l'air chaud.

Depuis un petit nombre d'années, et toujours par suite de l'augmentation du prix du combustible végétal, on a multiplié les essais, fait de nouvelles tentatives, et introduit quelques changements, dont un bon nombre n'ont pas encore été pratiqués pendant assez longtemps pour qu'on puisse en porter un jugement définitif.

Nous nous bornerons à indiquer ce qui nous a semblé donner les résultats les plus importants, et procurer les avantages les mieux constatés.

Toutefois nous croyons devoir énumérer les divers procédés qui sont venus à notre connaissance, afin d'appeler sur chacun d'eux l'attention des maîtres de forges, et de les mettre à même de demander les informations dont ils pourraient avoir besoin. Nous indiquerons donc :

a) L'emploi de l'air chauffé ; *b*) les deux tuyères divergentes de M. Gauthier ; *c*) le recouvrement du foyer ou creuset, par une voûte en briques ; *d*) l'emploi d'un four pour échauffer la fonte, avant de l'introduire dans le creuset ; *e*) l'emploi du bois desséché et mélangé avec le charbon ; *f*) l'emploi du bois à demi carbonisé ; *g*) enfin, des préparations de la fonte avant de la soumettre à l'affinage, et dans le but d'améliorer la qualité du fer fabriqué avec des fontes médiocres ou mauvaises.

De l'application de l'air chauffé, aux feux d'affinerie.

Ce procédé est employé dans un grand nombre de forges en Allemagne, et l'on assure partout qu'on en obtient de très-bons résultats, et une

a) Emploi de l'air chauffé.

économie réelle sur le combustible (1). Généralement l'air est chauffé à une assez faible température : à Kœnigsbronn (Wurtemberg), c'était, en 1835, à 150° c.; dans les usines de Bade, seulement de 100 à 110° ou 120° c.; mais cela tient, m'a-t-on dit, à l'imperfection de l'appareil dont on se sert, et qui consiste en un serpentin en fonte, qui n'est chauffé que par la flamme s'échappant librement du foyer, et au milieu de l'air extérieur qui est entraîné avec elle dans la cheminée. On dit qu'il vaudrait beaucoup mieux, pour l'affinage, projeter de l'air plus chaud. Au reste, on avait commencé (août 1837) des constructions pour remplacer tous les anciens feux par un nouveau système, ou fourneau dit *glühofen*, dont nous donnerons plus tard une description détaillée et complète, à l'aide de dessins. Qu'il nous suffise de dire, pour l'instant, que l'on attribue à l'emploi de l'air chauffé une économie de charbon très-notable. En effet, la consommation, pour 100 liv. de Bade (50 kil.), étant, à l'air froid, de 20 à 22 ou 24 pieds cubes de charbon, suivant sa qualité, a été généralement réduite à 15 ou 16, de même que dans l'usine de Schaffouse, par le fait seul de l'échauffement de l'air.

Dans les forges du Bas-Rhin, à Zinswiller, on est également très-satisfait de l'air chauffé pour l'affinage de la fonte, comme pour sa production

---

(1) Il est digne de remarque que l'emploi de l'air chauffé, auquel on suppose un pouvoir plus comburant, n'a pas fait augmenter le déchet sur la fonte, dans l'affinage ; on a reconnu, au contraire, aux forges du Bas-Rhin, une augmentation dans *le rendu* de 3 à 4 p. 100, mais sans économie sensible de charbon.

dans le haut-fourneau. L'appareil de chauffage est très-simple, et consiste en un tuyau en fonte, recourbé trois fois, et s'étendant verticalement dans une caisse, aussi en fonte, où monte la flamme, et celle-ci se rend ensuite dans la cheminée. On a élevé les soufflets à 8 pieds environ au-dessus du sol, et c'est à cette hauteur que l'air froid entre dans l'appareil; il en sort à une température de 100 à 125° c., mesurée à la tuyère. Le seul inconvénient que l'on trouve à cette disposition, c'est que la surface du tuyau d'échauffement, vers le coude inférieur, le plus rapproché du feu, se recouvre promptement d'une couche assez épaisse de matières fusibles, de cendres et silicates fondus ensemble, qu'on a beaucoup de peine à en détacher, et qui rendent le chauffage plus difficile et fort imparfait.

De l'emploi de deux tuyères divergentes dans les feux d'affinerie (1).

b) Des deux tuyères divergentes.

On a imaginé (2) et employé, pour introduire l'air dans les foyers d'affinerie anciens, deux tuyères au lieu d'une seule; elles sont un peu courbes, et placées d'un même côté à peu de distance l'une de l'autre; les deux jets d'air s'écartent, en divergeant au sortir des tuyères, de sorte que le vent peut s'étendre horizontalement

(1) On trouve dans les *Annales des mines* (3e série, tom. VII, pag. 183), l'indication de l'emploi de deux tuyères placées sur les parois latérales et opposées des creusets d'affinerie : ici la disposition est toute différente.

(2) Je crois que c'est M. Gauthier, maître de forges, possédant beaucoup d'usines à fer, dans la Champagne et la Franche-Comté.

dans le foyer. Il paraît toutefois que, dans le système de l'inventeur, on doit donner le vent tantôt par l'une et tantôt par l'autre; ce qui a lieu, du reste, lorsqu'on fait usage des anciens soufflets en bois.

On m'a dit à Hayange (en 1836) qu'on se trouvait bien de l'emploi de ces tuyères; qu'il en résultait une certaine économie de charbon, et que les ouvriers avaient trouvé très-promptement les petites modifications qu'il convenait d'apporter dans leur travail habituel, en raison de la nouvelle distribution de l'air dans le foyer.

En Champagne, près de Saint-Dizier (en 1837), on m'a assuré, au contraire, qu'on n'avait trouvé aucun avantage à substituer les deux tuyères de M. Gauthier à la tuyère unique dont on fait usage de temps immémorial.

Je n'ai aucun détail précis sur les essais qui peuvent avoir été faits pour établir une comparaison entre les résultats de la nouvelle et de l'ancienne manière de projeter l'air dans les feux d'affinerie, et je m'abstiens de prononcer entre elles.

Des feux d'affinerie recouverts d'une voûte.

c) De la voûte établie sur les feux d'affinerie.

Dans quelques usines à fer, mais dont le nombre n'est pas encore bien grand, en France, on voit des foyers d'affinerie, dont les flammes sont employées à divers usages, ainsi que nous le dirons plus tard; celles-ci sont conduites dans des espaces ou fours accessoires où doit s'opérer l'échauffement de certains corps, au moyen d'une voûte en briques réfractaires (quelquefois un peu inclinée de l'arrière à l'avant), et qui recouvre le

creuset, à une petite hauteur, comme de 3 $\frac{1}{2}$ à 4 pieds au-dessus du fond, et suffisante pour que l'ouvrier puisse *monter* son feu commodément.

Dans ces circonstances, on ne peut guère se douter de l'utilité de cette voûte pour produire une économie de charbon; cependant, d'après ce qui m'a été affirmé, en Champagne, par un maître de forges très-éclairé, cette seule disposition produit une économie de 30 à 36 pieds cubes de charbon par 1.000 kilogrammes de fer fabriqué; c'est entre le $\frac{1}{7}$ et le $\frac{1}{6}$ de la quantité consommée dans les usines de cette contrée, où les feux d'affinerie n'ont éprouvé aucune modification.

On voit d'ailleurs, dans le même pays, des feux d'affinerie qui sont simplement recouverts d'une voûte, sans que la chaleur des flammes perdues reçoive aucun emploi; elles sortent par un trou carré, percé dans la voûte, pour se rendre dans la cheminée; il y a encore dans ce cas une économie de près de *un cinquième* sur le combustible consommé; c'est une preuve directe de l'avantage que produit cette disposition (1).

(1) J'espère pouvoir publier, dans ces *Annales* des dessins destinés à faire connaître diverses manières de disposer et de perfectionner les forges au charbon de bois, afin d'épargner le combustible végétal. Il importe d'en répandre la connaissance parmi les propriétaires et directeurs de nos usines à fer. Il y a, en effet, diverses dispositions, comme celle dont nous venons de parler, qui ont le rare mérite de pouvoir s'adapter aux anciennes forges avec la plus grande facilité; mais s'il s'agissait de construire une usine nouvelle, ou d'en réparer complétement une ancienne, ainsi que je l'ai vu faire dans deux grands établissements du pays de Bade, je n'hésiterais pas à conseiller (dans le cas où il n'y a pas lieu de faire usage de la houille ou de la tourbe) l'emploi du système de foyer d'af-

On attribue ce résultat, cette diminution dans la quantité du charbon consommé, à la concentration de la chaleur dans le foyer, et à l'irradiation produite par la voûte, lorsqu'elle est chauffée convenablement, ce qui a lieu bien promptement quand le travail est continu.

Il y a, toutefois, quelques inconvénients attachés à l'usage des voûtes qui recouvrent les feux d'affinerie; peut-être parviendra-t-on à les faire disparaître, ou à en atténuer le résultat : d'abord on remarque, et les affineurs s'en plaignent en Champagne, que ces ouvriers souffrent plus de la chaleur du foyer, que dans les forges anciennes; ensuite il paraît qu'il retombe dans le foyer, et par l'effet de la résistance qu'oppose la voûte à l'ascension directe des flammes et fumées, des mélanges de cendres et de substances terreuses, qui ne se liquéfient pas complétement et qui s'interposent dans le fer, de manière à le rendre pailleux, ce qui nuit à sa qualité : cela devient surtout plus fâcheux pour les fers dits *de roche*, que l'on fabrique cependant actuellement dans ces foyers recouverts d'une voûte, pour obtenir l'économie de charbon qui résulte de cette disposition et que le haut prix du combustible végétal dans les départements de la Haute-Marne, de la Haute-Saône, etc., ne permet pas de négliger.

---

finerie avec four à réchauffer et appareil pour se procurer de l'air chaud, et qu'on appelle *glühofen*, qui est emp oyé à Laufen, près de Schaffouse, et que j'ai trouvé en construction à Hausen et à Albrück. J'en donnerai incessamment les dessins avec une explication détaillée.

De l'emploi d'une sole à chauffer la fonte avant de l'introduire dans le creuset d'affinage.

d) Des fours ou soles à échauffer la fonte, et à réchauffer le fer.

Il était assez facile d'imaginer qu'un échauffement préalable de la fonte, et en le portant jusqu'au rouge, devait diminuer la durée du temps nécessaire, pour opérer dans le creuset la liquéfaction de la charge; l'avantage devait être notable, en se ménageant, ainsi qu'on le fait toujours, le moyen de produire cet échauffement sans consommer de combustible pour cet objet; or l'emploi des flammes perdues des feux d'affinerie, convient très-bien, et peut être facilement appliqué à produire ce résultat; elles sont même capables de produire bien plus de chaleur qu'il n'en faut, pour cela, ainsi qu'on le verra par la suite (1).

On devait craindre toutefois, qu'en affinant de la fonte préalablement échauffée par la flamme perdue, et suivant la méthode allemande, qui n'admet, comme on sait, qu'un seul foyer pour la formation de la loupe et pour l'étirage du fer en barres, la fusion de la fonte se trouvant terminée (complète) bien plus tôt qu'à l'ordinaire, il ne fut plus possible de trouver le temps nécessaire pour forger les barres provenant de chaque loupe; c'est en effet ce qui aurait lieu si l'on n'employait pas le même four, ou d'autres qui reçoivent successivement la même flamme, pour réchauffer les barres d'une opé-

(1) La fonte doit être mise sous la forme de prismes courts ou gueusets, afin qu'on puisse la placer dans le four de préparation, et la faire passer ensuite, et toute rouge, dans le creuset d'affinage.

ration précédente, et pour les forger pendant l'affinage de la loupe qui suit; mais ces réchauffages, dans les fours accessoires, ne peuvent être pratiqués que sur des pièces déjà étirées en grosses barres, car les portions de loupes, lopins ou massiaux, ne pourraient, vu leur masse, y prendre une chaleur suffisante pour être étirés et soudés convenablement; ils doivent être réchauffés, dans le foyer même, ainsi qu'on le faisait auparavant, et ce qui n'a aucun inconvénient, parce que cela ne demande que peu de temps: Lorsqu'il s'agit de souder des pièces, il faut encore employer le même moyen (ou bien un foyer particulier) (1), la température des fours chauffés par les flammes perdues, demeurant toujours insuffisante pour cet objet.

Au reste, l'emploi d'un four à réchauffer la fonte, servant également et en même temps, lorsqu'il est convenablement disposé, à réchauffer le gros fer, pour l'étirer ensuite, soit au marteau lorsqu'on se borne à compléter l'opération ordinaire de l'affinage, soit à remplacer le feu de chaufferie pour le travail au martinet, se lie très-bien, et presque nécessairement, ainsi que nous l'avons dit en commençant, à l'établissement d'une voûte qui recouvre le foyer, et nous donnerons des exemples de ces dispositions multiples, dont on obtient de très-bons résultats dans diverses usines de l'Allemagne et de la France.

---

(1) Ainsi qu'on le voit pratiquer à l'usine de Laufen, où le foyer de réchauffage est à l'air chauffé, et consomme de la houille.

L'avantage de l'échauffement préalable de la fonte qu'on se propose d'affiner, est évident sous le rapport de l'économie du combustible, parce qu'il a pour effet nécessaire d'abréger l'opération de l'affinage; mais il peut avoir des inconvénients, et par le même motif, à l'égard des fontes que l'on n'est pas dans l'habitude de faire fondre rapidement dans le creuset, et pour lesquelles on admet, au contraire, qu'une fusion lente est nécessaire (peut-être même, dira-t-on, indispensable) pour en obtenir du fer d'une certaine qualité; et, en effet, si l'on ne trouve pas le moyen de suppléer, par quelques manipulations nouvelles ou plus multipliées, aux effets de purification qui ont lieu pendant une fusion lente de la fonte, il faut renoncer au procédé indiqué et aux économies qu'il procure : c'est, en effet, ce qui a lieu dans de certaines usines, où l'on assure qu'il ne convient pas de charger dans le creuset, de la fonte déjà chauffée au rouge, parce qu'elle se fond ensuite trop rapidement, et qu'il en résulte, en définitive, de mauvais fer (1). J'ai quelques raisons de croire que cela s'applique partilièrement aux fontes phosphoreuses qui donnent du *fer tendre*, comme on en affine souvent dans les départements des Ardennes, de la Moselle, etc.

Inconvénient de l'échauffement préalable pour affiner certaines sortes de fontes.

(1) Voyez le *Manuel de la métallurgie du fer*, tom. III de la 2[e] édition, § 1134, 1146, etc. C'est peut-être dans un cas semblable qu'on établit seulement une voûte sur le creuset, mais sans faire aucun usage des flammes perdues. On sait d'ailleurs l'importance que les métallurgistes, et surtout M. Karsten, attachent à cette fusion lente de la fonte, qui tombe alors goutte à goutte au milieu du vent de la tuyère, jusqu'au fond du creuset.

Il y a néanmoins déjà beaucoup d'exemples de cette manière de procéder, et bien des dispositions différentes qui arrivent au même but; cela suffit pour démontrer l'avantage du procédé en général; et à l'égard des cas où cela pourrait avoir des inconvénients, il sera toujours facile de les reconnaître, au moyen d'essais fort peu dispendieux. Lorsqu'on a, ou lorsqu'on peut établir un martinet à portée de ces fours, on n'a plus besoin de feu de chaufferie pour fabriquer ce qu'on appelle le *fer martiné*; suppression fort économique, dans les circonstances actuelles.

Il convient donc de disposer les feux d'affinerie de manière à pouvoir réchauffer, à la fois, la fonte et le fer en barres, et nous décrirons les feux d'affinerie de Schaffouse et ceux du grand-duché de Bade (Glühofen), qui n'en sont qu'une modification assez légère, parce qu'ils nous semblent présenter les meilleures dispositions dont nous ayons eu connaissance jusqu'à ce jour.

Remarquons, par anticipation, qu'on y trouve réunis la voûte qui recouvre le foyer, le four à réchauffer et l'appareil à chauffer l'air; il y a conséquemment emploi utile des flammes du foyer, concentration de la chaleur dans le creuset, etc.

Si la nature de la fonte ne permettait pas de l'échauffer avant de la liquéfier dans le creuset d'affinerie, il n'y aurait rien à changer pour cela dans la disposition des fours accessoires; seulement ils ne seraient plus employés qu'à réchauffer le fer pour l'étirer en barres ordinaires ou en fer de petit échantillon; on peut même se servir de cylindres pour exécuter ce dernier travail.

De l'emploi du bois fortement desséché, mélangé avec le charbon de bois, dans les feux d'affinerie.

Je n'ai que fort peu de renseignements sur ce procédé que je n'ai pas vu pratiquer, et qui est employé dans plusieurs des usines de M. Gauthier : le bois est préalablement desséché, soit au moyen de l'air chauffé, qui traverse des chambres où le combustible est entassé, soit par les flammes même du gueulard des hauts-fourneaux : cette préparation doit être embarrassante et dispendieuse; on dit pourtant qu'on trouve de l'avantage dans ce procédé, qui sera sans doute incessamment décrit par M. l'ingénieur Bineau. *e) Emploi du bois desséché.*

§ II. *De l'affinage de la fonte par la méthode anglaise.*

Le procédé imaginé et employé généralement en Angleterre, pour affiner la fonte en ne consommant que de la houille, atteint son but d'une manière remarquable; et, comme il permet d'établir les usines dans toutes les localites où le minerai est abondant, et que la fabrication du fer, toujours extrêmement rapide, peut prendre une extension presque indéfinie, il a été et sera encore longtemps, pour ce pays, une source immense de richesses : on a commencé par fabriquer de la fonte au coke, puis on a converti celle-ci en fer en barres, et les machines à vapeur étant venues prêter leurs forces prodigieuses à ces fabrications, les produits des usines

de la Grande-Bretagne ont atteint une prospérité sans exemple jusqu'ici.

Le bois n'étant pas encore devenu aussi rare, sur le continent de l'Europe qu'en Angleterre, depuis cinquante ans, on a continué de fabriquer la fonte et le fer avec le charbon de bois; ce n'est guère que dans ces derniers temps qu'on a cherché à imiter les procédés anglais, et malheureusement on n'en a pas toujours obtenu le succès que l'on en devait attendre. Jusqu'ici, ce sont les usines de la Belgique qui ont le mieux prospéré, et elles travailleraient avec autant d'avantages que celles des îles britanniques, si la houille y était au même prix. Mais le succès métallurgique qu'on a obtenu dans ces contrées ne dépend que de la bonne qualité des matières premières fournies par la nature, et nullement de procédés particuliers, ni même d'une meilleure exécution de ceux qui sont pratiqués ailleurs.

On n'y remarque rien de particulier, si ce n'est, pour la fabrication de la fonte, l'emploi de machines soufflantes très-puissantes, et que l'on ne craint pas de faire mouvoir par des machines à vapeur, de la force de 50 et même 60 chevaux, ainsi que nous l'avons dit précédemment.

En France, des houilles et quelquefois des minerais de fer, d'une qualité médiocre, ont porté un assez grand préjudice à des usines à l'anglaise construites à grands frais, et sur une très-grande échelle, avant d'avoir suffisamment reconnu la nature des produits que l'on pouvait obtenir des minerais fondus avec le combustible dont on disposait, et des fers qui en devaient provenir : cependant il est à croire qu'avec une

étude suivie de ces éléments, qu'à l'aide d'essais bien dirigés et avec de la persévérance, on parviendra à surmonter les difficultés qui ont arrêté jusqu'ici l'essor de ces usines. On a dû commencer l'emploi des procédés anglais d'affinage par les appliquer à la fonte produite avec le charbon de bois, et on y a trouvé divers avantages qui doivent faire adopter dans presque toutes nos forges, l'affinage au fourneau à réverbère, et en ne brûlant que de la houille.

On doit distinguer trois genres de procédés, ou trois manières de combiner les opérations qui constituent l'affinage à l'anglaise :

1° Le procédé anglais proprement dit ou complet, comprenant les trois opérations : *mazéage* ou conversion de la fonte en fine métal; *puddlage*, suivi du cinglage et de la formation des grosses barres; ces deux dernières opérations étant exécutées au marteau frontal et au moyen des cylindres ébaucheurs; et enfin, *réchauffage* ou *corroyage*, indispensable pour obtenir du fer marchand avec des fontes au coke, sur lesquelles on pratique toujours cette suite d'opérations.

2° Le même procédé peut être appliqué aux fontes au charbon de bois, et il y en a quelques exemples, lorsqu'on veut fabriquer du fer d'une excellente qualité, et pour des usages particuliers; mais généralement on supprime le mazéage dans ce cas, et il suffit de réchauffer le fer puddlé, et de le soumettre à un corroyage pour fabriquer de bon fer marchand; rarement on corroie deux fois.

Il est digne de remarque que les déchets sur la fonte au charbon de bois que l'on soumet au puddlage, et dont le produit subit ensuite un

corroyage, sont à peu près les mêmes que ceux qui résultent de l'ancien mode d'affinage au charbon de bois. Quelquefois le déchet est moindre par la nouvelle méthode; d'autres fois il est un peu plus grand.

3° Une autre manière de procéder, toujours pour affiner des fontes produites au charbon de bois, a reçu le nom de *méthode champenoise*; de la contrée où elle a pris naissance; elle consiste à puddler immédiatement la fonte, sans mazéage, et à réchauffer ensuite les loupes, cinglées et dégrossies au marteau, dans un foyer à tuyère, sans corroyage, et au milieu de la houille.

On obtient ainsi de bon fer, en supprimant deux des opérations pratiquées dans le procédé anglais, sur les fontes au coke, et pourvu qu'on emploie le four à deux portes de travail, dit *champenois*, et où l'affinage s'opère d'une manière plus parfaite que dans le four simple des Anglais.

Nous allons exposer et faire connaître ce que l'on observe de particulier relativement à ces trois genres de procédés, dans les diverses usines à fer que nous avons visitées dans ces dernières années, en France et en Belgique, afin d'appeler l'attention des métallurgistes sur ce qu'il nous paraît encore possible de faire pour diminuer *le prix de revient du fer*, et pour améliorer la qualité de celui-ci, tout en épargnant du combustible; mais surtout dans le but de faciliter et de rendre plus facile l'application des méthodes qui conviennent le mieux à nos forges.

1° Procédé anglais.

1° *Du procédé anglais* proprement dit. Ce procédé, appliqué à des fontes au coke, se compose toujours des trois opérations principales

dont nous avons parlé, et qui sont également, et de la même manière pratiquées en Angleterre, en Belgique et en France, lorsqu'on affine les fontes dont il s'agit.

Les foyers de finerie, les fours à puddler, les marteaux de cinglage, et les cylindres lamineurs, sont, à de légères différences près, établis et construits sur le même modèle partout. Les opérations sont exécutées de même, et donnent, à peu près partout, les mêmes produits avec des consommations analogues.

Toutefois il y a de fâcheuses exceptions, des anomalies ruineuses dans de certaines forges, qui ont obligé à perdre beaucoup de fer dans l'opération du mazéage, à faire deux réchauffages ou corroyages, et cela même sans obtenir de très-bon fer. Il importerait extrêmement d'étudier et de bien faire connaître les causes chimiques ou physiques de ces résultats, afin de remédier à ces pertes.

Pour nous borner à ce qui se rapporte à la fabrication du fer en barres, nous ferons remarquer que la nature des fontes, leur composition, peut-être la quantité et l'état de combinaison du carbone, la proportion du silicium, ou celle du soufre et du phosphore, influent sur la facilité de leur affinage, et surtout sur la perfection de celui-ci, en même temps que sur les déchets qu'éprouve le métal dans chaque opération.

Nous avons déjà signalé les différences qui existent entre les fontes au coke et celles au charbon de bois, sous le rapport de la facilité de leur affinage au four à réverbère; elles résultent peut-être uniquement de la manière dont le carbone se trouve combiné dans ces deux sortes de fonte.

car elle est indépendante de la proportion des substances nuisibles qu'elles contiennent.

Parmi les fontes au coke, et en supposant des minerais d'une qualité médiocre et un combustible sulfureux, ainsi qu'on l'observe généralement pour la houille et même le coke, les circonstances dans lesquelles la fonte a été formée paraissent avoir une grande influence sur sa qualité comme fonte de forge; c'est-à-dire sur le déchet qu'elle éprouvera pour être convertie en fer, et aussi sur la qualité du fer qu'on en obtiendra (1).

Bien que les moyens connus et employés pour améliorer la qualité du fer à l'affinage, entraînent, comme de nécessité, une diminution notable dans le rendu des fontes, et que ce soit en sacrifiant du fer que l'on parvienne à le faire meilleur, il est cependant vrai de dire que ce sont, en général, les fontes qui éprouvent le plus de déchet qui donnent le plus mauvais fer. Les exemples ne me manqueraient pas, s'il fallait citer des faits à l'appui de cette assertion; mais je ne veux ici qu'en conclure l'imperfection des procédés et la nécessité de les perfectionner.

Quoi qu'il en soit, il est certain que des fontes dont l'aspect, le grain et la couleur de la cassure ne diffèrent pas sensiblement, montrent néanmoins de grandes différences, lorsqu'on les sou-

---

(1) C'est ainsi qu'à Decazeville, on fondait des minerais si aisément fusibles en masse (et à ce point qu'ils se convertissaient en partie en silicates de fer, par le simple grillage en tas qu'on en faisait), qu'ils ne pouvaient guère produire de bonne fonte dans les fourneaux, puisqu'ils devaient s'y comporter comme des scories de forge.

met aux diverses opérations de l'affinage à la houille. C'est dans chaque usine qu'il faut étudier ces diverses manières de se comporter des fontes, afin de tirer le meilleur parti possible de chacune d'elles, et surtout il faut conduire les hauts-fourneaux de la manière qui convient pour leur faire produire l'espèce de fonte qui donne les résultats les plus avantageux.

On remarque que les fontes formées par une grande surcharge de minerais, lorsque ceux-ci sont fort impurs, ou lorsque le coke est très-sulfureux, sont difficiles à affiner, et donnent de mauvais fer; il en est de même des fontes formées par des mélanges très-riches, ou bien encore lorsque la descente des charges devient très-rapide, comme il est arrivé lorsqu'on a voulu augmenter considérablement, et par divers moyens, le produit journalier de fourneaux qui, jusque là, ne donnaient que 5 ou 6 tonnes de fonte par vingt-quatre heures : souvent alors la fonte produite est devenue rebelle à l'affinage; elle a subi beaucoup plus de déchet qu'auparavant, et le fer s'est trouvé plus mauvais.

L'emploi de l'air chauffé, qui a produit de bons effets dans les fourneaux de la Voulte et ceux des environs de Saint-Etienne, a augmenté, généralement en Angleterre, la difficulté de l'affinage pour les fontes ainsi produites, et on a, dit-on, abandonné ce procédé, lorsqu'il s'est agi de produire des fontes de forge.

On a cherché à expliquer ce résultat par l'existence d'une plus haute température dans l'ouvrage des fourneaux à l'air chaud, qui donnait lieu à la réduction et combinaison d'une plus forte pro-

portion de silicium. Mais, outre que l'on peut douter de cette haute température, lorsqu'on a augmenté convenablement la dose de matières à fondre, dans la charge, il s'agit de fontes blanches ou truitées, qui contiennent moins de silicium que les fontes grises, et cependant celles-ci donnent toujours de meilleur fer que les autres.

a) Du mazéage, ou de la conversion de la fonte en fine métal.

On a fait, à diverses époques, et encore dernièrement en Angleterre, bien des tentatives pour supprimer le mazéage, dans le procédé anglais, et pour convertir immédiatement la fonte au coke en fer malléable, en la traitant au four à puddler, telle qu'elle est au sortir des hauts-fourneaux; mais le carbone ou graphite se trouvant toujours engagé ou combiné, et fortement retenu, dans cette espèce de fonte, le puddlage ou la décarburation devient long et difficile, le déchet est considérable, et, quelque chose qu'on fasse, le fer est toujours de mauvaise qualité : on fait bien quelquefois passer une petite quantité de fonte brute, au puddlage, avec du fine métal, mais le fer obtenu s'en ressent toujours.

Faute de pouvoir se dispenser de convertir les fontes au coke, en fine métal, avant d'en obtenir du fer en barres, on a dû chercher à rendre l'opération du mazéage plus économique, et surtout plus efficace pour séparer les substances nuisibles, et améliorer la qualité du fer, sans sacrifier trop de métal. Les fineries à six ou huit tuyères, auxquelles on fournit du vent en abondance, à l'aide de machines de quinze ou

vingt chevaux de force (1), produisent journellement de grandes quantités de fine métal, et avec assez peu de frais; mais le déchet, variable selon la nature de la fonte et aussi du coke employé, est quelquefois très-considérable, et c'est à cela qu'il importe de remédier.

On peut trouver de l'avantage à préparer de la fonte au charbon de bois, par un mazéage préliminaire au puddlage, surtout lorsqu'elle est de mauvaise qualité, et pour en obtenir de bon fer; il y a même des usines où les fontes tendres sont préparées, au moins par une fusion, à l'affinage qu'elles subiront dans les anciens feux d'affineries; c'est pour cela que nous avons cru devoir réunir tout ce qui se rattache à la préparation des fontes pour l'affinage.

Le mazéage proprement dit s'exécute toujours dans un creuset ou foyer à tuyère, et produit du fine métal, tandis que les préparations d'une moindre importance se réduisent à fondre dans un fourneau à réverbère, en ajoutant, le plus souvent, des scories riches ou des battitures, et dans le but de séparer des substances nuisibles. Le produit prend ordinairement le nom de *fonte blanchie*, c'est-à-dire peu décarburée.

Revenons au mazéage : on sait que le but de cette opération est ou doit être double, savoir de rendre la fonte moins aisément fusible, et par cette raison plus facile à travailler dans le four à puddler. Ainsi, le fine métal contient beaucoup moins de carbone que la fonte qui l'a produit; peut-être même l'état ou le mode de combinai-

(1) On a reconnu dans diverses usines qu'il fallait donner beaucoup de vent, plutôt qu'un vent très-fort.

son de celui-ci est-il un peu différent? En outre, quelques-unes des substances nuisibles se sont en partie séparées: le métal est plus pur, et c'est le second motif de cette opération.

On peut pousser plus ou moins loin le mazéage, et obtenir ainsi du fine métal plus ou moins *soufflé* (rempli de soufflures). Le puddleur demande qu'il soit assez fortement affiné, parce que son travail est plus tôt terminé; mais le fer, qui a *pris nature* trop promptement, reste médiocre. L'ouvrier de finerie, au contraire, voudrait le donner le moins soufflé possible, parce qu'alors le déchet est le plus faible, et que l'on paye au mille de fine métal livré.

On doit toujours se tenir entre les limites extrêmes, et se diriger, à cet égard, selon la nature de la fonte, et d'après ce que l'expérience apprend dans chaque usine.

Ordinairement un moindre déchet aux fineries, et pour une même espèce de fonte, est compensé par un plus grand déchet au puddlage, et même au réchauffage qui le suit, et réciproquement. Toutefois il y a moyen d'arranger les choses de manière à n'avoir, en définitive, qu'un déchet minimum, pour chaque espèce de fonte, et pour une certaine qualité de fer obtenue.

Pour les bonnes fontes de forge ordinaires, le déchet aux fineries n'est guère que de 10, 11 ou 14 sur 100; mais, pour de très-mauvaises fontes, il s'élève à 20, 25 et même 28 pour 100. Le puddlage et le corroyage donnant ensuite les mêmes déchets qu'à l'ordinaire, la perte sur le métal devient considérable, et le fer reste encore assez mauvais. Si on veut l'améliorer par un second corroyage, le déchet total augmente, et il arrive, comme on l'a

vu dans une des plus grandes usines à l'anglaise du royaume, que la fonte ne produit que 54 ou 55, même quelquefois seulement 52 pour 100 de fer marchand, au lieu de 70, 72 ou 75 que l'on obtient généralement en Angleterre et en Belgique.

De là un accroissement considérable dans le prix de revient du fer en barres, et une diminution notable dans le total de la fabrication annuelle, en faisant les mêmes dépenses que dans d'autres usines (1). Or, comme il est de toute évidence que ces déchets ne proviennent point de la manière dont on opère le mazéage, ou dont on pratique les opérations qui suivent, il faut en voir la cause dans la nature de la fonte, et diriger ses recherches vers les deux objets suivants : la fabrication d'une fonte plus pure, ou, comme on dit, de meilleure qualité, et ensuite sa purification ou sa conversion en fine métal, en diminuant le déchet. On conçoit l'un comme aussi possible que l'autre, et même il y a des raisons de croire que le meilleur remède aux inconvénients signalés plus haut serait de fabriquer de meilleure fonte. Malheureusement, la qualité de celle-ci dépendant de la nature du combustible qu'on ne peut pas changer, ou du moins dont le remplacement par d'autre qui serait meilleur deviendrait trop coûteux; et de même pour le minerai, on ne voit guère de moyen d'améliorer les fontes dans la plupart des

(1) Il est à remarquer que ce sont précisément les fontes qui éprouvent un très-fort déchet, surtout au mazéage, qui donnent le plus mauvais fer. Si on améliore celui-ci en le soumettant à un second corroyage, on augmente encore la perte en métal; de sorte qu'il y a double inconvénient à fabriquer ou à acheter de mauvaise fonte de forge.

localités : l'emploi de l'air chauffé a paru plutôt défavorable qu'avantageux, sous ce rapport et dans ces circonstances.

Reste donc le travail des fineries à perfectionner : sous ce rapport, et principalement pour diminuer le déchet qui a lieu dans cette opération, les recherches qu'a publiées (1) M. Thomas, ancien élève de l'Ecole des mines, sont le meilleur guide qu'on puisse suivre ; il suffira d'en appliquer les résultats aux différentes espèces de fonte, et en ayant égard aux classifications que l'auteur a établies entre elles. Les procédés sont, il est vrai, assez délicats à pratiquer, et ne doivent pas être abandonnés entièrement aux ouvriers ; mais, en y donnant les soins convenables, on en obtiendra les mêmes avantages qu'il en a eus, lorsqu'il a dirigé lui-même les opérations, dans les usines à fer de l'Aveyron.

J'ai vu, en 1834, au Creusot, pratiquer un procédé tout à fait semblable, et consistant à projeter, dans le creuset de finerie, du minerai de fer calcaire ; mais on ne l'employait pas pour toute espèce de fonte.

Il paraît certain que c'est à l'abondance du soufre contenu dans les fontes, à la présence de cette même substance dans le coke avec lequel il se trouve en contact pendant le mazéage (2), et enfin au peu d'efficacité de cette opération pour séparer le soufre d'avec le fer, que sont dus, et l'énorme déchet que la fonte éprouve dans sa conversion en

(1) *Annales des mines*, 3ᵉ série, tom. III, pag. 433.

(2) Sous ce rapport, le mazéage exécuté dans un fourneau à réverbère présenterait des avantages ; mais jusqu'ici on n'a pas employé ce procédé.

fine métal, et la mauvaise qualité du fer en barres qu'on en obtient.

C'est moins, à ce qu'il semble, par suite de la prolongation de l'opération, faite dans la vue d'avoir un métal plus pur, que, par l'effet d'une combustion plus facile, et par conséquent inévitable, du sulfure de fer existant en nature dans la fonte; et aussi par suite d'une formation abondante de silicate de fer, lorsqu'il se trouve en certaine quantité de la silice en présence de l'oxide de fer qui se forme, ou dont elle détermine la formation, lorsqu'il n'y a pas d'autre base pour la saturer, qu'a lieu le plus grand déchet sur les fontes. Or, la silice se rencontre dans le creuset par le sable quartzeux, qui est si souvent adhérent aux gueuses que l'on coule sur le sol des fonderies, bien qu'il fût extrêmement facile de préparer un sable calcaire pour cet objet; de plus, les cendres du coke, et surtout lorsqu'elles sont abondantes, en fournissent aussi beaucoup. Sous ce rapport, les procédés que nous venons d'indiquer sont évidemment très-efficaces pour prévenir ou diminuer le déchet qui provient de cette cause, et l'expérience a prouvé qu'elle est très influente.

Mais relativement au soufre, tant celui contenu dans la fonte que dans les cokes, on ne voit guère de moyen de le séparer (1) qu'en le brûlant par le vent de la tuyère au milieu du métal, et

---

(1) M. Karsten (2e édition de son *Manuel de la métallurgie du fer*, tom. III, pag. 17, § 1228) dit, conformément à ce qui précède, que « le fine métal obtenu des fineries se trouve à la fois appauvri en carbone et débarrassé de la majeure partie du phosphore, du manganèse et du silicium; » mais il ne nomme pas le soufre.

cela ne peut avoir lieu sans brûler en même temps beaucoup de fer.

Au reste, il y a des fontes tellement sulfureuses, qu'on distingue au milieu des gueuses, et dans leur cassure, des noyaux de véritable pyrite de fer; quelquefois on peut écumer à la superficie du bain de métal fondu, dans le creuset d'affinerie, du sulfure de fer liquide, qui monte et se sépare de la fonte, comme plus léger que celle-ci.

S'il est vrai, comme on l'assure, que l'on voit quelquefois, dans le four à puddler, brûler avec une vivacité et un éclat particuliers, des noyaux de sulfure de fer, qui se trouvent encore dans le fine métal, il n'est pas étonnant que le même phénomène se produise, quoiqu'on ne puisse l'apercevoir, dans le creuset d'affinerie. Dans tous les cas, la combustion d'une grande quantité de fer en doit être la suite, car le résidu de la pyrite brûlée est de l'oxide de fer.

Application de *l'air chaud* aux mazeries.

On a cherché à appliquer l'air chauffé, aux foyers de fineries, vraisemblablement dans le but de diminuer la consommation du combustible : il ne paraît pas qu'on en ait obtenu de bons effets. On a peu de détails sur les circonstances de ces essais; cependant voici ce qu'on trouve dans le journal de voyage de M. l'ingénieur des mines Gruner, sur ce qui a été fait en Silésie (1833) : « Après avoir donné l'air chaud dans les mazeries de Kœnigshütte, on observa qu'on ne pouvait travailler, chaque jour, que pendant cinq heures de suite, parce que le creuset devenait trop chaud; il se remplit de crasse, et la fonte ne blanchit plus. » L'auteur remarque, du reste, que les ouvriers, n'étant pas exercés à ce nouveau travail,

pouvaient bien ne pas pratiquer les manipulations qui auraient été nécessaires pour le faire réussir.

On conçoit d'ailleurs comment un trop fort échauffement du creuset, effet presque nécessaire de la projection de l'air chauffé, peut nuire à la séparation du carbone, puisque c'est dans une circonstance analogue, et par le seul fait d'une très-haute température, que se forme la fonte grise, très-graphiteuse, dans l'intérieur des hauts-fourneaux. Enfin, on a dit, et quelques observations semblent l'indiquer, que l'air chaud exerçait sur le fer une action moins oxidante que l'air froid, dans des circonstances semblables. S'il en était ainsi, on ne devrait pas s'étonner de voir cet air chaud produire moins d'effet que l'air froid sur la fonte pour la purifier, en oxidant les substances étrangères qui s'y trouvent réunies, d'où résulterait une prolongation dans la durée de l'opération, et un produit moins parfait qu'en employant le procédé ordinaire.

Vues théoriques sur le mazéage et le puddlage.

Au reste, soit que l'on considère ce qui se passe dans les foyers de finerie, soit que l'on veuille expliquer ce qui a lieu dans les fours à puddler, il ne faut pas perdre de vue les observations suivantes, qui sont dues aux chimistes suédois. M. Seven a fait une suite d'expériences (1), desquelles il résulte que : « dans les fours à puddler, comme dans les feux d'affinerie, la puissance d'affinage, qui a lieu par la réaction de l'oxide de fer contenu dans les scories formées pendant l'opération, ou par celles que l'on ajoute, continue de s'exercer jusqu'à ce que les scories

(1) Journal de Erdmann, 1re série, tom. XV, pag. 166.

soient devenues un bisilicate; mais elle cesse (avait dit l'auteur dans un premier mémoire), lorsque cette condition n'est plus remplie. » Mais il a modifié plus tard ce qu'il y avait d'absolu dans cette conclusion, ayant dû reconnaître que la même réaction avait encore lieu, quoique d'une manière bien moins active, pour les composés où la silice se trouve en plus forte proportion que dans les bisilicates, c'est-à-dire, pour les trisilicates et quadrisilicates; cette puissance s'affaiblissant considérablement, à mesure que la dose de silice augmente dans les scories, où par conséquent l'oxide de fer diminue dans un rapport inverse.

M. Sefström voit dans ce résultat l'indication de ceci, que l'influence du vent (de l'air lancé par une machine, ou amené par un courant naturel), dans les différents modes d'affinage de la fonte, doit s'exercer bien plutôt, ou du moins bien plus souvent, sur les scories que sur le métal (qu'elles recouvrent presque toujours lorsqu'il est fondu), et de manière à suroxider le fer combiné dans ces scories, et pour les rendre plus agissantes, plus propres à oxider les substances que l'on veut séparer du fer : elles servent ainsi d'intermédiaire à la réaction de l'oxygène, et présentent cet avantage important qu'elles ne peuvent oxider le métal.

Si cette manière de voir est fondée, et surtout si elle était confirmée par des observations ou des expériences directes, on serait conduit à admettre que la masse d'air projetée dans les creusets de finerie (et de même pour les feux d'affinerie au charbon de bois, et les fours à puddler), a pour but, et pour effet principal d'agir sur les scories,

bien plus encore que sur le metal, afin de suroxider le fer qu'elles contiennent, et de donner lieu à des silicates très-chargés d'oxide de fer, et, en un mot, de leur rendre leur puissance d'oxidation, lorsqu'elle a été épuisée par leur réaction sur les substances qu'il s'agit de séparer du fer, par oxidation.

Ces mêmes vues expliqueraient aussi cette circonstance, bien constatée d'ailleurs, des mauvais effets que produit la présence de la silice dans les creusets d'affinerie; et de l'avantage qu'on a trouvé à saturer la plus grande partie de cette substance, amenée dans ces creusets par les cendres du coke, etc., au moyen de diverses bases capables de former avec elle une combinaison aisément fusible, telles que l'oxide de manganèse, la chaux, etc.; ce qui est le fondement des procédés de M. Thomas, dont nous avons parlé.

Enfin, comme la réaction des silicates ne peut manquer d'être plus efficace sur un métal qui n'est pas très-fluide, que sur celui qui serait fondu et parfaitement liquide, peut-être trouverait-on, dans cette circonstance, réunie à ce qui vient d'être exposé, la cause des mauvais effets qu'a produits l'air chauffé, introduit dans les mazeries, et qui y élève trop la température. On peut croire que la réaction des scories était devenue insignifiante, en raison d'une trop grande fluidité du métal.

Toutefois, il faudrait avoir des observations plus nombreuses et plus exactes que celles que l'on possède actuellement, pour donner la mesure de l'influence qu'exercent séparément, sur la fonte à purifier, l'oxygène de l'air, par son action immédiate sur ce dernier, et l'oxygène combiné dans les scories en contact avec ce mét

De l'espèce du combustible employé.

On emploie généralement le coke pour opérer le mazéage des fontes produites avec un combustible minéral. Nous avons dit que la nature du coke, et surtout la quantité souvent très-considérable de soufre qu'il contient, avaient une influence très-fâcheuse sur la qualité du fine métal obtenu. C'est pour cela que les fontes qui ont été fabriquées avec du charbon de bois, ne doivent pas être mazées avec du coke, lorsqu'on veut en obtenir de très-bon fer.

Il y a des exemples de mazéage au charbon de bois, à Fourchambault, et peut-être ailleurs.

Quant au mode d'exécution du mazéage, le procédé, en usage actuellement, présente l'avantage de permettre de fabriquer journellement une grande masse de fine métal, en employant de fortes machines soufflantes. Les foyers à six ou huit tuyères, et qui reçoivent tout l'air fourni par une force de quinze à vingt chevaux, produisent de 18 à 20.000 kilogrammes de fine métal par vingt-quatre heures, et avec une consommation médiocre de combustible.

Il serait vraisemblablement difficile d'obtenir les mêmes avantages d'une opération exécutée dans un fourneau à réverbère, même en appliquant une machine soufflante, à la purification de la fonte.

Des préparations que l'on fait subir aux fontes, pour en faciliter l'affinage au feu d'affinerie, ou pour améliorer la qualité du fer qu'on en obtiendra.

Préparations des fontes au charbon de bois.

On sait que les fontes au charbon de bois sont assez faciles à blanchir, lorsqu'elles sont grises ou truitées, et bien qu'on puisse les affiner toutes

immédiatement, et sans inconvénients, soit dans l'ancien feu d'affinerie, soit dans le four à puddler, il y a cependant des cas où il est nécessaire de refondre les gueuses d'un grand poids pour mettre la fonte sous la forme de gueusets (1) faciles à échauffer et à manœuvrer. Cette opération se fait alors dans un fourneau à réverbère, chauffé avec de la houille, ou même de la tourbe desséchée (2), et on ne doit pas négliger de la préparer en même temps pour l'affinage. Si cette fonte est de bonne qualité, il n'y a qu'à la blanchir; mais en ajoutant des scories riches, en poussière et en très-petits fragments, et en brassant le métal avec ces matières, on obtient toujours ce double résultat de rendre l'affinage de la fonte ainsi préparée plus rapide, ce qui épargne du charbon, et de fabriquer de meilleur fer, ce qui n'est pas un moindre avantage; pour améliorer le fer produit par les fontes tendres (plus ou moins phosphoreuses), il faudrait vraisemblablement joindre à l'action des scories, celle de quelques autres substances, comme l'oxide de manganèse, peut-être le sel ou le nitre, etc.

Nous pouvons indiquer plusieurs usines où l'on pratique la fusion préalable de la fonte, en ajoutant des scories de forge, comme moyen préparatoire, et dans le but d'en obtenir du fer de meilleure qualité.

A Swrintochlowitz (Silésie prussienne), on blanchit la fonte dans un fourneau à réverbère

---

(1) Parce qu'il serait fort difficile de les casser en morceaux, ce qui même ne remplirait pas toujours le but qu'on se propose.

(2) Comme à Kœnigshutte, dans le Wurtemberg.

analogue à ceux qui servent au puddlage, et en y ajoutant des scories. Toutefois ce procédé n'est pas toujours suivi d'un entier succès (1).

C'est, sans doute, d'après ces opérations, ou d'après les essais qui ont eu lieu avant de les rendre usuelles, que M. Karsten a publié dans ses *Archives* (2), un mémoire sur l'emploi des scories de forge (scories riches) pour préparer la fonte à l'affinage.

Le même métallurgiste décrit aussi, dans son *Manuel* (3), le procédé qui a été pratiqué à Geislautern (pays de Saarbruck), pour blanchir la fonte au moyen des scories, et la rendre semblable à de la fonte caverneuse, en l'arrosant d'ailleurs abondamment avec de l'eau, au sortir du fourneau; la consommation s'élevait à peine, dit-il, à $0^{m.c.}$,66 de houille, par 1000 kilogrammes de fonte blanchie.

Un procédé semblable est pratiqué sur de certaines fontes, à Hayange, et probablement sur des fontes tendres, dans le but d'en obtenir de meilleur fer. Je n'en connais aucun détail.

A Jaegerthal (l'une des forges du Bas-Rhin appartenant à MM. Dietrich), M. Bilfinger, directeur, a fait refondre, au fourneau à réverbère, des fontes phosphoreuses, et en les brassant avec des scories riches et de l'oxide de manganèse, il leur a donné une préparation qui en a facilité l'affinage (au charbon de bois), et qui a procuré

---

(1) Journal de M. Gruner, voyage de 1833.

(2) 1re série. J'en ai donné une traduction dans les *Annales des mines*.

(3) Tom. III, pag. 155, de la traduction, 2e édition. On y trouve les dimensions d'un fourneau à blanchir la fonte.

une grande amélioration dans la qualité du fer qui en est provenu; mais la consommation de la houille dans le fourneau, qui d'ailleurs n'était pas dans les meilleures proportions, s'élevait à 600 kilogrammes par 1000 de fonte, ce qui a paru trop dispendieux pour continuer : on se propose cependant de reprendre ces essais.

b) Du puddlage du fine métal ou de la fonte.

Les fours à puddler anglais sont bien connus, et tous ceux du continent qui sont employés à traiter le fine métal sont exactement semblables; on les appelle fours simples.

On a proposé d'y joindre un petit four placé du côté de la cheminée, chauffé pas les flammes qui vont entrer dans celle-ci, et destiné à donner un échauffement préalable au métal que l'on va puddler, ce qui ne peut manquer d'abréger l'opération et d'épargner le combustible; cependant, lorsqu'il s'agit de fine métal, ordinairement concassé en morceaux, et qui, en raison de cela, ne demande pas beaucoup de temps pour être amené à l'état pâteux, sur la sole de puddlage, on ne fait guère usage de ce procédé (1); au contraire, lorsqu'on affine de la fonte au charbon de bois, qui n'a besoin d'aucune préparation, pourvu qu'elle soit en petites masses de 15, 25 ou 30 kilogrammes au plus, on emploie fréquemment une petite sole à réchauffer, et on en obtient les avantages dont nous venons de parler. Entre les deux

(1) D'ailleurs le transport de ces fragments d'une sole sur l'autre, serait long et difficile; il en résulterait un grand refroidissement dans le four à puddler.

soles se trouve le vide ou flow par lequel on fait écouler les scories formées pendant le puddlage : cela oblige à sortir le métal rouge, et à le passer sur la grande sole, par la porte extérieure de chargement, opération qui s'exécute facilement et promptement sur de la fonte en gueusets (1).

Parmi les dispositions imaginées pour diminuer les frais de fabrication du fer puddlé en épargnant du combustible, il faut signaler les *fours doubles*, ou *à deux portes de travail*, *placées soit sur les faces opposées*, *soit d'un même côté*, et par lesquelles deux ouvriers peuvent travailler en même temps. Nous aurons occasion d'en parler ailleurs ; il suffit de dire ici qu'on a fait usage de la première disposition à la Bassindre, près de Nantes, à Montataire (Oise), et sans doute ailleurs, et qu'on lui reconnaît un avantage notable sur le four simple; mais comme on n'y a pas joint de petite sole à réchauffer le métal, ce qui serait cependant très-facile à faire, et très-convenable, puisqu'on n'y affine guère que des fontes au charbon de bois, le fourneau champenois, dont nous allons parler, mérite peut-être la préférence, lorsqu'il s'agit des fontes de cette dernière espèce.

Il est encore une autre modification, dans la construction des fours à puddler, qu'il peut être utile d'indiquer, quoique je n'en connaisse pas en ce moment tous les détails, non plus que les circonstances où il convient particulièrement d'en faire usage : c'est de former les parois latérales intérieures de ces fours, avec de la fonte, mais de les faire doubles, afin de faire circuler continuellement

(1) Nous en verrons un exemple dans les fourneaux employés pour pratiquer l'affinage suivant la méthode champenoise.

un courant d'air froid (1) entre deux, pour prévenir la fusion du métal. Je crois qu'il y a des fourneaux de cette espèce à Hayange, et sans doute ailleurs; je ne puis rien dire de leurs avantages relatifs, mais j'ai lieu de penser que ces dispositions sont employées particulièrement lorsque la fonte à puddler (fonte au charbon de bois) est phosphoreuse, et par conséquent facile à fondre et à décarburer; alors elle n'exige pas une forte chaleur dans le four.

c) Du cinglage, de l'étirage; du ballage et du corroyage du fer.

Opérations mécaniques sur le fer puddlé.

Le cinglage des loupes de fer formées dans les fours à puddler s'opère, soit au marteau, soit à l'aide des cylindres. Lorsqu'on travaille sur le fine métal, et assez généralement lorsqu'on pratique le procédé anglais primitif, c'est avec le marteau frontal que l'on comprime les loupes. Ce marteau est ordinairement soulevé par la tête; on en voit cependant en Belgique qui sont soulevés par le milieu du manche, ce qui donne plus de facilité au forgeur pour manœuvrer autour de l'enclume.

Dans quelques usines, à l'imitation de ce qui se voit dans le pays de Galles, on comprime les loupes entre des cylindres à grandes échancrures.

Un nouvel instrument a été imaginé et employé, à ce même usage, depuis quelques années; c'est ce qu'on appelle *presse* ou *mâcheur*, dont

(1) J'ai aussi ouï parler d'un courant d'eau employé au même usage; mais j'ignore si c'est un simple essai, ou si on en a fait usage d'une manière suivie.

on voit quelques exemples en France et en Angleterre. Il n'en a été publié jusqu'ici aucune description ; ses effets paraissent tenir le milieu, sous le rapport de la séparation des scories, du soudage du fer et de la rapidité de l'opération, entre le marteau frontal et les gros cylindres. On s'en sert quelquefois seulement pour donner aux loupes une forme allongée, et les préparer à passer plus facilement et plus rapidement sous les cylindres dégrossisseurs. Cette manière de préparer les loupes semble devoir présenter des avantages sur l'usage de la masse galloise, dont on frappe les boules, dans l'intérieur du four à puddler, et avant de les porter aux cylindres.

Du ballage.

On nomme *ballage* un premier corroyage, qui n'est que préparatoire, et pour lequel on ne cherche pas à effectuer un soudage bien parfait du fer, parce que les barres doivent être soumises à un nouveau réchauffage, et à l'étirage, par des cylindres lamineurs.

On a quelquefois exécuté la partie mécanique du *ballage* avec le marteau frontal (comme au Creusot), et peut-être cette manière de procéder est-elle préférable à celle où l'on se sert des cylindres ébaucheurs, comme à Decazeville. Dans ce dernier cas, le ballage ne diffère pas du corroyage, et l'on peut dire alors que le fer est fabriqué à l'aide de deux corroyages ; ce qui augmente considérablement le prix de revient du fer marchand, et ne doit être pratiqué que par nécessité.

De l'étirage en barres.

Quant à l'étirage proprement dit, il est toujours exécuté par des cylindres, dans les usines où l'on se livre à une grande fabrication, parce que ceux-ci opèrent très-rapidement et fort exactement les changements de forme du fer, suivant un profil

déterminé; mais on pense généralement que les barres ainsi formées, du moins lorsque le fer n'a pas été préalablement bien débarrassé des scories, est moins homogène, plus imprégné de ces scories qui se sont attachées à ses fibres et les rendent régrises. Enfin il est moins bien soudé et moins résistant, surtout dans le sens perpendiculaire à la longueur des barres, que celui qui a été travaillé au marteau. Le cylindre donne plus d'apparence, et le marteau plus de qualité au fer en barres; mais dans la conversion des grosses barres, en fer de petit échantillon, l'usage des cylindres n'a plus que des avantages.

Dans les usines établies pour fabriquer du fer forgé avec des fontes au charbon de bois, et qui ne sont pas très-considérables, surtout dans les anciennes forges transformées pour y pratiquer les nouveaux procédés, on a conservé l'usage du marteau pour cingler les loupes et fabriquer le gros fer, ainsi que nous le dirons tout à l'heure.

Nous n'avons rien de particulier à faire connaître relativement aux *fours à réchauffer*; nous remarquerons seulement qu'il importe, pour ces fourneaux ainsi que pour ceux qui servent au puddlage, de tirer parti des flammes et de l'excès de chaleur qui se perd par la cheminée; cela sera toujours plus avantageux, puisque l'expérience a prouvé qu'on en pouvait obtenir un effet utile très-notable, et cela sans nuire au tirage nécessaire pour entretenir une combustion active dans la chauffe, et une haute température sur la sole.

Nous reviendrons sur cet objet à la fin de ce chapitre.

Considérations sur le puddlage des fontes, et les moyens d'améliorer la qualité du fer, dans le cours de cette opération.

Considérations sur le puddlage.

Nous avons dit que la conversion de la fonte en fer malléable ne réussissait que médiocrement, ou du moins n'était pratiquée avec avantage, dans le fourneau à réverbère, que sur de la fonte qui ne restait pas longtemps liquide sur la sole, telle qu'est la fonte blanche, ou truitée blanche (1), et surtout le fine métal. Les fontes grises, au coke, sont les plus désavantageuses sous ce rapport, en raison de la tenacité avec laquelle elles retiennent le carbone, et demeurent liquides dans le fourneau.

C'est, en effet, lorsque les fontes ou le fine métal sont maintenus à l'état pâteux, ou en grumeaux, que les divers agents d'oxidation, soit l'oxygène libre contenu dans le courant d'air qui se répand sur la sole, soit l'oxide de fer qui se forme, soit enfin les scories riches ou battitures qu'on y projette, exercent le plus efficacement leur action (2) : on peut alors malaxer les ma-

(1) Toutefois les fontes au coke de cette espèce ne donneraient, par le puddlage immédiat, que de très-mauvais fer, et il est nécessaire de les convertir en fine métal.

(2) Il y a, suivant M. Karsten (*Manuel de*, etc., tom. III, pag. 173, de la traduction, 2e édition), des différences entre les fontes soumises au puddlage, qui exigent ou permettent d'employer de préférence les uns ou les autres de ces agents : « Les fontes qui demeurent longtemps dans le fourneau, sans devenir bien liquides, c'est-à-dire celles qui restent pâteuses, peuvent être affinées uniquement par le courant d'air, tandis que celles qui deviennent parfaitement liquides ne peuvent s'affiner par

tières, incorporer les agents solides d'oxidation dans le métal à affiner, et rendre les réactions plus faciles, plus rapides et plus complètes.

Pour expliquer les différentes circonstances, les phénomènes successifs que l'on observe dans l'affinage de la fonte, et qui se manifestent à l'œil, lorsqu'on opère dans le fourneau à réverbère; enfin, et principalement pour se diriger dans les essais et les différentes modifications que l'on pourrait être tenté de faire éprouver à la conduite des opérations, dans un but de perfectionnement, il ne faut pas oublier ce fait, qui a toute la généralité d'un principe, savoir que la purification des fontes ou du fine métal, c'est-à-dire la séparation des substances nuisibles au fer, d'où dépend la qualité du fer fini, ne peut jamais s'effectuer que pendant qu'il y reste une certaine quantité de carbone combinée, qui est indispensable pour maintenir la matière à purifier dans un état de demi-fluidité ou de mollesse, hors duquel toute réaction est à peu près nulle, et la purification est arrêtée. C'est pour cela que le fine métal trop fortement affiné (trop décarburé) ne donne pas généralement de bon fer.

Du procédé bavarois employé pour améliorer la qualité du fer puddlé.

Un procédé a été imaginé, en Bavière, et mis en usage dans quelques usines, et non sans succès, pour améliorer la qualité du fer, au moyen de l'addition de certaines substances, au métal, pendant le puddlage; c'est principalement sur les fontes produites avec le charbon de bois qu'il a été pratiqué, et c'est à ce cas que se rapportent

---

l'action directe de l'air; on est obligé de les traiter par les scories douces, dont l'oxygène ne peut agir que sur le carbone renfermé dans le métal. »

les détails et les résultats consignés par M. Elie de Beaumont dans les *Annales des mines* de 1836 (1).

Ces résultats sont favorables au procédé bavarois; mais comme les inventeurs ont annoncé qu'ils pouvaient obtenir d'excellent fer de toute espèce de fonte, et que, s'il en était ainsi, avec les moyens qu'ils indiquent, et qui ne sont ni dispendieux, ni très-difficiles à mettre en pratique, un des plus importants problèmes de la métallurgie du fer se trouverait résolu, il est utile de constater et de publier qu'il n'en est rien, et que ceux que cet objet intéresse ne doivent pas cesser leurs essais et leurs recherches à cet égard.

Il était surtout important, pour nos forges du nord et de l'est du royaume, d'avoir un procédé pour améliorer les fers provenant des fontes tendres ou phosphoreuses, si communes lorsqu'on fond des minerais en grains : malheureusement c'est précisément sur ces fontes qu'a échoué le procédé bavarois.

J'avais été témoin des essais que l'on faisait à Hayange au mois de septembre de l'année dernière (1836), et malgré la présence de l'un des intéressés au brevet, malgré la précaution qu'on avait prise d'envoyer des ouvriers à la forge de Laquint, près de Trèves, pour se former aux manipulations requises, et que l'on pratique journellement dans cette usine, où le nouveau procédé avait, à ce qu'il paraît, donné de bons résultats pour une fonte de fer fort; malgré tout cela, on n'apercevait aucune amélioration, et la suite n'a que trop vérifié les présomptions que l'on avait déjà con-

(1) 3e série, tom. X, pag. 299.

çues. Voici ce que m'a mandé, à la date du 25 avril 1837, M. Lang, directeur dans ces usines.

« Le procédé bavarois a été essayé avec une constance admirable pendant plus de six mois, dans toutes les circonstances où l'inventeur, qui lui-même dirigeait les opérations, a voulu placer son invention. Il a complétement échoué avec les fontes tendres. Avec les fontes de meilleure qualité, dont il voulait retirer du fer en tout comparable à celui de l'affinage au charbon de bois, il est bien parvenu à rendre un fer un peu plus blanc que celui obtenu avec les mêmes fontes affinées par le puddlage, mais il n'a pas atteint, à beaucoup près, ce qu'il avait promis. La consommation était énorme, et le déchet plus fort; et enfin il est parti sans avoir obtenu de résultats satisfaisants. Nous avons continué après lui sans plus de succès. . . . . « On a cessé ce travail qu'on soumettra peut-être à de nouveaux essais. Ainsi, pour nous du moins, le problème n'est pas résolu. »

Quoique ce désappointement, après de pompeuses annonces et quelques probabilités de réussir, ne soit pas fort encourageant; bien que d'autres essais encore puissent n'avoir aucun succès, nous croyons cependant qu'en raison des circonstances si favorables, dans le four à puddler, pour faire agir diverses substances sur le fer impur, et pour en séparer les matières nuisibles qui s'y trouvent combinées, c'est sur l'opération du puddlage qu'il convient de porter son attention et de diriger ses expériences; soit que l'on veuille étudier les effets des corps oxidants, tels que la vapeur d'eau, l'air chauffé, l'oxide de manganèse, le nitre, etc.; ou bien ceux des fondants, tels que le sel marin, la potasse.....

C'est dans ce fourneau seulement que l'on peut observer les changements opérés, en suivre tous les progrès, arrêter les opérations au point convenable, etc.; et, par tous ces motifs, nous avons l'espoir qu'un peu plus tôt, ou un peu plus tard, on obtiendra de semblables recherches, des résultats très-satisfaisants, et qui produiront un véritable progrès dans l'art de fabriquer le fer.

§ III. *De l'affinage mixte suivant la* MÉTHODE CHAMPENOISE.

Les fontes de forge de médiocre qualité (fontes métis ou tendres), fabriquées avec le charbon de bois, produisent généralement de meilleur fer, lorsqu'on les affine dans le fourneau à réverbère avec de la houille, que lorsqu'on les soumet à l'affinage ancien, au charbon de bois. On peut appliquer à ces fontes le procédé anglais, dans lequel on supprime seulement le mazéage, qui n'est pas indispensable pour les fontes obtenues avec le combustible végétal, et alors les opérations se réduisent au puddlage, cinglage et corroyage : c'est par là qu'on a commencé en France, et l'on voit de nombreux exemples de cette manière de travailler, dans les usines des départements des Ardennes, de la Meuse, de la Moselle, de la Nièvre, etc. Mais l'établissement d'une forge à l'anglaise exige toujours l'emploi d'assez grands capitaux, même lorsqu'on se sert de cours d'eau comme moteurs des cylindres lamineurs, etc.; d'ailleurs la fabrication ne peut être avantageuse, dans ce système, que quand elle a lieu sur une grande échelle. Si donc l'on s'en fût tenu à cette méthode, presque toutes les petites forges devaient cesser de travailler, et de grandes usines pouvaient seules se

soutenir; la nécessité a encore ici opéré un de ses miracles, et l'industrie a compté un procédé de plus.

La méthode dite champenoise, bien qu'elle ne diffère pas essentiellement de la précédente, en est cependant une modification très-distincte, dont le but principal et l'avantage remarquable consistent en ceci, qu'elle est applicable sans beaucoup de frais à toutes les anciennes forges, en conservant le foyer à tuyère qui devient un feu de chaufferie à la houille, et continuant de faire usage des marteaux tels qu'ils se trouvent établis; mais il faut ajouter aux anciennes constructions un ou plusieurs fours à puddler, selon l'importance de l'usine.

Du reste, l'affinage champenois n'employant que de la houille, la totalité du charbon de bois qui était consommé pour convertir la fonte en fer forgé, par l'ancien procédé, reste disponible pour d'autres usages, et surtout pour produire de la fonte. Le résultat final de l'application générale de ce système, de cette réserve du charbon de bois pour la fabrication de la fonte, tandis que l'affinage de celle-ci s'opérera au moyen de la houille, et quelquefois de la tourbe, sera : 1° une augmentation très-notable (elle peut être double) de la quantité de fonte qui était obtenue annuellement, en ne consommant qu'une même quantité de bois; 2° une amélioration générale dans la qualité des fers moyens; 3° enfin, une diminution dans *le prix de revient* des fers en barres, d'une qualité supérieure à celle des fers provenant des fontes au coke, excepté toutefois dans les localités où la houille reviendrait à un prix trop élevé, au-

quel cas la méthode champenoise ne serait plus applicable.

C'est en raison de ces avantages généraux et particuliers (1) qu'il est à désirer que cette méthode mixte soit appliquée dans la plupart des forges du centre et de l'ouest du royaume ; mais il faut pour cela d'abord qu'elle soit bien comprise par les maîtres de forges, et ensuite qu'on leur fournisse divers éléments nécessaires pour substituer de nouvelles dispositions aux anciennes : c'est ce que nous chercherons à faire par les détails dans lesquels nous allons entrer, et qui pourront être suivis, plus tard, d'un mémoire descriptif accompagné de dessins.

La méthode champenoise n'est pas le premier essai qui ait été fait d'un *affinage mixte* pratiqué sur de la fonte au charbon de bois, et en substituant la houille au combustible végétal, dans cette opération, et dans le but de réserver celui-là aux hauts-fourneaux. Un procédé mixte a été imaginé et pratiqué pendant un certain temps à Ribnick, dans les usines royales de la Silésie prussienne (2). Il a aussi été essayé à Audincourt (Doubs), il y a quelques années, et définitivement abandonné dans cette usine.

La loupe était formée en contact du charbon

---

(1) Il m'a été assuré, dans l'une des forges de la Haute-Marne, qu'il n'était plus possible maintenant de fabriquer avec avantage du fer de moyenne qualité, par l'ancien procédé de l'affinage au charbon de bois, et en concurrence avec l'affinage à la houille ; ainsi donc ceux qui commenceront à pratiquer ce procédé dans les petites forges de la Bretagne, du Maine, etc., auront un grand avantage.

(2) *Archives* de M. Karsten, 1re série, tom. III, pag. 107, etc.

de bois, de sorte que l'on consommait encore une assez grande quantité de ce dernier; après cela la houille servait à l'étirage des lopins. La méthode champenoise me paraît supérieure à celle de Ribnick, sous tous les rapports, lorsqu'il s'agit de fers un peu tendres; peut-être le procédé de Ribnick serait-il appliqué avec avantage aux fontes de forge de première qualité, dont le prix de vente est toujours fort élevé, parce qu'il détériorerait moins cette qualité.

L'affinage champenois, toujours pratiqué sur de la fonte au charbon de bois, se compose de trois opérations : 1° l'affinage au four à puddler (puddlage) de la fonte qui n'a subi aucune préparation; mais, pour épargner le combustible, en abrégeant la durée de cette première opération, ce métal est préalablement échauffé sur une petite sole placée à la suite de celle où s'exécute le puddlage. Cela est si généralement pratiqué, que l'on peut regarder cette disposition comme faisant partie du procédé champenois, bien qu'on l'emploie dans d'autres circonstances. Il y a aussi une autre différence entre les fours; mais elle est moins essentielle, et nous en parlerons comme particulière à ce qu'on peut appeler le *four à puddler champenois*.

Le produit ou les loupes de l'affinage (toujours plus petites que celles des fours anglais) sont cinglées au marteau, et donnent ce qu'on appelle le *fer massiau* : chaque massiau étant un prisme de fer dégrossi, qui correspond à une loupe ou boule sortie du four à puddler. Ce fer doit être encore cinglé et étiré en barres, comme on va le dire; cependant il est quelquefois vendu à l'état de *massiau* aux usines qui ont des trains de laminoirs à occuper.

2° Le réchauffage des massiaux, afin de les étirer en barres. Cette opération se fait habituellement, et sans trop d'inconvénients, en plaçant les pièces, au milieu de la houille embrasée, dans un foyer à tuyère. Ce mode de réchauffage est le seul praticable, lorsqu'on se sert des marteaux pour cingler et étirer le fer; mais, lorsqu'on fait usage de cylindres, il convient d'avoir des fours à réverbère de chaufferie, les seuls qui puissent aisément fournir tout le métal nécessaire à ces machines, qui débitent beaucoup plus que le marteau.

3° Enfin, le cinglage et l'étirage qui se font toujours au marteau, lorsqu'on suit, en son entier, le véritable procédé champenois. On croit, dans les forges de la Haute-Marne, que cette manière de comprimer le fer exerce une certaine influence sur sa qualité, et qu'elle est préférable, sous ce rapport, à celle des cylindres.

D'ailleurs, c'est toujours le marteau qui se trouve en présence du feu d'affinerie converti en foyer de chaufferie, lorsqu'on a transformé une ancienne forge en une usine à la champenoise, et il importe beaucoup de l'utiliser, la faiblesse de la plupart des cours d'eau ne permettant pas d'établir partout des laminoirs.

Il convient d'avoir, au moins, un foyer de chaufferie par chaque four à puddler en activité, et cela est quelquefois insuffisant; de même, il faudrait un marteau pour chaque chaufferie, lorsqu'il n'y a point de martinet pour l'étirage des barres : cependant le plus souvent il n'y a qu'un marteau pour deux chaufferies.

On trouve des avantages à composer une forge de deux fours à puddler, avec deux feux de chaufferie et deux marteaux, dont l'un ordinaire pour

cingler les loupes, et l'autre à volant (ou à engrenage) pour étirer les massiaux en barres.

On remarquera, dans l'exposé du procédé de la Champagne, que tout est combiné de manière à épargner la houille, dans les diverses opérations, parce qu'en effet ce combustible est fort cher dans cette contrée (1). Le prix de la houille est un élément nécessairement variable, dans chaque localité, ainsi que celui de la fonte; mais les frais de la main-d'œuvre pour les 1.000 kilogrammes de fer en barres, sont peu différents de ce qu'ils sont dans les anciennes forges au charbon de bois.

Ce que nous avons dit de l'amélioration de la qualité des fers, par l'emploi du nouveau procédé, ne doit être appliqué qu'aux fontes médiocres, dites *métis*, et non pas aux très-bonnes fontes, qui ne donneraient par l'affinage au fourneau à réverbère, que des fers d'une qualité bien inférieure à celle que l'on obtient en les traitant par le charbon de bois, dans les feux d'affinerie (2). C'est pour cela que les excellents *fers de roche*, ainsi que ceux destinés aux tréfileries (du moins pour les fils fins) sont toujours fabriqués par l'ancien procédé, à Poissons et ailleurs.

---

(1) On emploie tantôt de la houille de Saarbruck, qui est très-pyriteuse, et coûte de 55 à 60 fr. les 1.000 kilog.; et tantôt de la houille de Rive-de-Gier, bien meilleure, mais qui revient à 65 ou 70 fr.

(2) Cela est conforme à ce que dit M. Culmann dans la note de la page 166 (tome III de sa traduction du *Manuel* de M. Karsten) : « L'expérience m'a prouvé que les fontes de mauvaise qualité, affinées à la houille, dans les fours puddlings, donnent du fer moins cassant, qu'il ne le serait si l'affinage s'effectuait au charbon de bois; *les bonnes fontes* se conduisent d'une manière tout à fait op-

Au reste, on sait que jusqu'à présent on n'a pu fabriquer, dans les fours à puddler et avec quelque espèce de fonte que ce soit, ce qu'on appelle *du fer fort ou fer à grain*; c'est un perfectionnement encore attendu pour compléter les avantages, déjà notables, de l'affinage des fontes avec le combustible minéral.

Nous allons passer en revue les principales circonstances de la fabrication par le procédé champenois, en y joignant les résultats des diverses observations que nous avons faites ou recueillies, en suivant les diverses opérations dont il est composé.

Le puddlage de la fonte (ordinairement blanche truitée) s'opère dans deux sortes de fours à réverbère, dont nous indiquerons, plus bas, les avantages relatifs, et que l'on voit employer dans diverses forges de la Haute-Marne, etc.; ils sont d'ailleurs toujours pourvus d'une petite sole (d'environ trois pieds de longueur), sur laquelle on échauffe la fonte, avant de la charger sur la sole à puddler; on attache, avec raison, une certaine importance à cette disposition, qui permet d'abréger un peu l'opération principale, et par conséquent d'épargner de la houille, dans une contrée où elle est fort chère.

---

posée! » A la page 32, le même métallurgiste exprime que ce sont les fers tendres qui deviennent meilleurs. Enfin des expériences faites en Silésie, et rapportées dans le journal de voyage de M. l'ingénieur Gruner (1833), ont montré que de la fonte provenant de minerais phosphoreux (mine des marais) soumise au puddlage, donna de bons résultats; le fer fabriqué fut de bonne qualité, et le déchet fut faible, quoique l'opération eût été difficile et longue, à cause de la trop grande fluidité de cette fonte phosphoreuse qui était grise.

L'un de ces fourneaux est dit *four simple*, et ne diffère pas de ceux qu'on a imités des Anglais; il n'a qu'*une seule porte de travail*, et il n'y a jamais qu'un seul ouvrier puddleur qui puisse brasser dans son intérieur. **Du four simple.**

L'autre four, que l'on peut appeler *fourneau champenois*, présente, outre la petite sole, et la porte qui lui correspond, deux portes de travail correspondant à la grande sole, et par lesquelles deux puddleurs travaillent souvent en même temps.

Ce fourneau (qui sera décrit en détail, par la suite, et à l'aide d'un dessin exact) est plus allongé que le précédent, et reçoit aussi une charge en fonte un peu plus forte, ordinairement de 200 kilogrammes, au lieu de 170 kilogrammes, ou même moins.

L'avantage que l'on trouve à faire travailler deux ouvriers à la fois (ce qui permet de faire une charge plus forte) résulte moins d'une petite économie de charbon produite par une plus grande rapidité dans le puddlage (mais qui est compensée par un petit accroissement dans les frais de main-d'œuvre), que d'un brassage mieux exécuté, plus uniforme, et qui produit toujours du fer de meilleure qualité (avec la même fonte) que celui qu'on obtient des fours simples (1).

---

(1) On pourrait essayer avec espoir de succès, le fourneau double, c'est-à-dire, *à deux portes de travail* placées sur deux faces opposées, dont j'ai donné un dessin exact dans les *nouveaux procédés pour fabriquer la fonte et le fer*, *Pl.* II, *fig.* 3 (d'après ceux qui sont employés à la forge de la Bassindre, près de Nantes); on y affine, à la fois, 300 kilogrammes de fine métal, ou de fonte, et on y trouve une économie très-notable sur le

D'ailleurs, le fer provenant des fours champenois peut être étiré (au marteau) immédiatement, et n'a pas besoin d'être corroyé, tandis que celui des fours simples l'est toujours, pour atteindre à une qualité à peu près semblable à celle des fours à deux portes.

Dans ces derniers fours, et pour une charge de 200 kilogrammes de fonte, l'opération dure environ cinq quarts d'heure, et quelquefois un peu moins; il y a dix ouvriers attachés à chaque fourneau, et ils se relèvent, par moitié, toutes les huit heures.

Dans les usines du Châtellier et du Buisson (près de Saint-Dizier, Haute-Marne), qui appartiennent à M. Danelle, et sont renommées pour la qualité du fer qu'on y fabrique, on fait de 20 à 21 charges en vingt-quatre heures; on travaille pendant douze jours consécutifs sur quinze, afin de ne pas laisser refroidir les fourneaux sans nécessité; les trois derniers jours de la quinzaine servent de repos aux ouvriers, et sont employés à faire des réparations à l'intérieur des fours. La consommation en houille de Saarbruck (gros et menu pris ensemble) est d'environ 600 kilogrammes, elle serait moindre si l'on employait celle de Rive-de-Gier, toujours plus chère, et dont on fait usage seulement pour réchauffer les massiaux.

Le déchet sur la fonte n'est pas très-considérable, il ne s'élève qu'à 10 p^{r}. 100; mais nous al-

---

combustible; mais pour la rendre encore plus considérable, il faudrait y joindre *une petite sole* afin d'opérer un échauffement préalable de la fonte, ainsi qu'on le pratique en Champagne et ailleurs.

lons voir qu'il est bien plus grand dans l'opération qui suit, et qu'on appelle réchauffage ou *étirage des massiaux*.

Le puddlage n'offre aucune particularité importante à signaler ; il suffit de dire que l'on forme dans l'intérieur du four, et lorsque l'affinage est terminé, des *boules* en plus grand nombre, et d'une masse moindre que dans les usines à l'anglaise, et cela pour les proportionner au poids des marteaux à cingler, qui ne dépasse pas 3 ou 4 quintaux métriques.

Chaque boule étant cinglée et ayant reçu la forme d'un prisme quadrangulaire court, prend le nom de *massiau*. C'est du fer ébauché, et qui, après avoir été réchauffé au blanc soudant, peut être étiré en barres sous le marteau, ou entre des cylindres; mais on se sert toujours du marteau dans la méthode champenoise proprement dite.

Du réchauffage et de l'étirage au marteau des massiaux.

Le réchauffage des massiaux se fait toujours avec de la houille de la meilleure qualité et dans un foyer à tuyère; comme nous ne nous proposons pas de donner en ce moment une description complète du procédé d'affinage champenois, nous nous bornerons à dire, sur l'opération du réchauffage, seulement ce qui est indispensable pour en faire apprécier les résultats, et surtout pour faire sentir la nécessité d'y apporter divers perfectionnements.

Il suffira de savoir que le foyer de chaufferie n'est autre que l'ancien creuset d'affinerie, légèrement modifié; le nouveau creuset carré est formé de cinq plaques de fonte, y compris celle du fond; la tuyère est presque horizontale, et l'on donne, dit-on, 200 pieds cubes d'air par minute.

L'ouvrier commence par remplir le foyer de

houille en morceaux, puis il place une pièce (un massiau) un peu au-dessus de la tuyère, et il recouvre le tout de ce même combustible; ensuite il arrange au-dessus du foyer, des barres de fer formant une sorte de grille, et destinées à supporter plusieurs massiaux ou pièces qui commenceront à s'échauffer pendant le forgeage de la première et des suivantes, de manière qu'en en prenant une à mesure du besoin pour la porter au milieu du feu, elle atteindra rapidement au rouge-blanc; les barres qui forment la grille sont supportées par une espèce d'étrier, accroché au-dessus du creuset, et la flamme, passant nécessairement entre elles, échauffe les pièces qu'elles soutiennent. C'est un moyen simple d'abréger la durée du réchauffage, en employant une petite portion de la flamme perdue.

L'ouvrier, après avoir donné le vent et pendant le chauffage, n'a pas d'autre chose à faire qu'à tenir chaque pièce bien enveloppée de houille; il jette aussi de l'eau à la surface du tas.

L'étirage se fait en deux fois, sous le marteau; en présentant la pièce d'abord par un bout, puis par l'autre, qu'on est obligé de réchauffer; pour certains fers, le métal va au feu jusqu'à quatre fois.

C'est pour exécuter cette opération de l'étirage des barres, que l'on se sert, depuis quelque temps, et avec un grand avantage, tant sous le rapport du bon emploi de l'eau motrice, que de la rapidité du travail, *du marteau à volant*, et à engrenages, dont il sera utile de donner un dessin exact et détaillé, ainsi que nous espérons pouvoir le faire incessamment.

La consommation en houille, dans l'opération du réchauffage des massiaux, est de 700 kilogrammes pour 1.000 kilogrammes de fer marchand ou étiré en barres; on ne se sert pour cette opération que de houille de très-bonne qualité, et le moins possible sulfureuse : en Champagne, on préfère celle qui vient de Rive-de-Gier, quoique plus chère, à la houille de Saarbruck, qui est plus pyriteuse, et qui d'ailleurs chauffe moins que l'autre : cela tient à ce que le soufre exerce, au réchauffage et en raison du contact de la houille, une influence nuisible sur la qualité du fer, et peut être en même temps une cause du déchet qu'il éprouve. Consommations et déchets dans le réchauffage des massiaux.

Le déchet, qui a lieu dans le réchauffage du fer massiau, n'est quelquefois que de 15 pour 100, mais souvent il s'élève bien plus haut; lorsque le fer est remis au feu quatre fois, il peut être de 22 ou de 25 pour 100; nous allons revenir tout à l'heure sur cette circonstance importante.

Rapportons quelques résultats de l'affinage de la fonte suivant la méthode champenoise.

Dans les forges de M. Danelle (au Châtellier et au Buisson), et d'après le relevé de ses livres, qu'il a bien voulu me communiquer, les consommations moyennes, pour 1.000 kilogrammes de fer marchand, ont été, en 1836, 1° en houille de toutes qualités, pour le puddlage et le réchauffage, de 1.397 kilogrammes; 2° en fonte, de 1.436 kilogrammes. Consommations totales dans l'affinage champenois.

Il faut remarquer que dans ces usines on donne beaucoup de soins à la qualité du fer, dont la réputation est bien établie, et qu'on ne craint pas de répéter les réchauffages pour obtenir du fer bien soudé; toutes les barres défectueuses, et les bouts de barres, sont reportés au four à puddler,

ce qui augmente nécessairement la somme des déchets.

Quelques personnes indiquent, pour ces mêmes consommations totales, 1.840 kilogrammes de houille, et 1.500 kilogrammes de fonte.

Vues relatives au perfectionnement de la méthode champenoise.

Nous terminerons ce que nous avons à dire sur l'affinage suivant la méthode champenoise, par diverses observations, et quelques vues relatives aux moyens d'en perfectionner les opérations.

Le premier objet qui doive attirer l'attention, c'est le déchet souvent très-considérable qu'éprouve le fer massiau, au réchauffage : sans doute il se brûle du fer, comme sur la forge de maréchal, mais, ce qui est plus digne d'attention, parce que cela permet d'espérer d'y remédier, c'est qu'une portion notable du fer perdu se sépare à l'état métallique, de la pièce que l'on chauffe (1) ; on trouve en effet, dans les *boules* ou *sornes* que l'on retire du creuset de chaufferie (à peu près tous les cinq jours), du fer mélangé avec des scories, et en assez grande quantité pour qu'on puisse en obtenir immédiatement des loupes, en les traitant dans le four à puddler; la forge de Bologne achète des usines voisines de grandes quantités de ces boules, pour en faire l'objet d'un traitement particulier.

On conçoit qu'il doit y avoir des moyens d'empêcher cette désaggrégation du fer, dont les parties séparées qui tombent dans le creuset se mêlent avec les scories qui en occupent le fond, et aug-

---

(1) On sait que cela arrive aussi dans la fabrication de l'acier de forge à Rives (Isère), où il se forme une loupe de fer doux, principalement pendant le forgeage des barres d'acier.

mentent ainsi considérablement le déchet, qui devrait naturellement être borné à celui qui résulte de l'oxidation du métal : peut-être faudrait-il travailler davantage les massiaux au cinglage, les battre plus chauds avant de les réchauffer, ou bien modifier le mode de réchauffage, si l'on croit qu'il ait de l'influence sur la circonstance qui nous occupe, ce que je ne suis pas porté à croire.

On sait d'ailleurs que le fer massiau, qui est assez souvent vendu pour être étiré en barres, par des cylindres, après avoir été réchauffé dans un fourneau à réverbère, présente des déchets fort variables, selon les forges d'où il provient, c'est-à-dire suivant que l'affinage de la fonte a été plus ou moins parfait, et qu'on a opéré à une température plus ou moins élevée.

Il serait bien utile de faire des essais pour chercher à diminuer le déchet qui a lieu au feu de chaufferie, et donner ainsi toute la perfection désirable à un procédé qui est destiné, nous ne craignons pas de le répéter, à exercer la plus heureuse influence sur l'industrie du fer, en France et sur le continent de l'Europe.

Nous allons encore ajouter quelques considérations qui sont relatives aux moyens propres à épargner la houille dans le réchauffage des massiaux.

Dans quelques forges de la Champagne, le foyer de chaufferie est recouvert par une petite voûte, et les pièces soumises à l'échauffement préparatoire, dont nous avons parlé, sont placées dans une espèce de rampant qui conduit les flammes dans une cheminée latérale : n'ayant point été à même d'observer cette disposition, je

n'ai aucun détail à ajouter à cette indication; mais on conçoit qu'elle peut avoir quelques avantages d'économie sur la précédente, qui est employée plus généralement, et peut-être seulement à cause de sa simplicité.

Si ce n'était la crainte de compliquer un procédé recommandable pour cette dernière qualité, on pourrait conseiller (surtout lorsqu'il s'agit de construire une nouvelle usine pour fabriquer du fer suivant la méthode champenoise) d'employer le nouveau foyer ou fourneau dit *glühofen*, dont nous avons déjà parlé, et qui est en usage à la forge de Laufen, près de Schaffouse, ainsi que dans les principales usines du grand-duc de Bade (1); on y trouverait vraisemblablement une assez grande économie de combustible.

Le nouveau feu de chaufferie, dont le creuset n'éprouverait aucun changement, présenterait alors, 1° une voûte recouvrant le feu et servant à concentrer la chaleur, et de plus à diriger la flamme dans un petit four à réchauffer, pour préparer les pièces; ce four serait d'ailleurs bien moins grand que celui de Laufen, peut-être même suffirait-il d'un rampant muni d'une porte; 2° on projetterait de l'air chauffé, dans le foyer et par une tuyère à eau (2).

(1) On n'y brûle que du charbon de bois, mais rien ne s'oppose à ce que l'on en applique toutes les dispositions à une chaufferie à vent, alimentée par de la houille donnant de la flamme.

(2) J'ai vu dans cette même usine de Laufen, un feu de chaufferie à la houille, servant à forger et souder de grosses pièces pour les machines, et qui reçoit de l'air chauffé (un peu au-dessus de 100° c.) par la flamme du foyer; on en obtient de très-bons résultats, mais je n'ai pu avoir de renseignements sur ses avantages, comparés à ceux des foyers à l'air froid.

On sait toutefois, par des expériences répétées et dont on peut voir les détails dans ces *Annales* (1), que le réchauffage du fer, dans la forge de maréchal, s'exécute, avec l'air chauffé, plus rapidement et avec moins de déchet, qu'en y employant l'air froid. M. Faber-Dufaur, directeur à Wasseralfingen, et qui fait un usage continuel des forges à l'air chaud, m'a confirmé leurs avantages; il y trouve diminution dans le déchet, économie de temps et même de combustible; l'application de ce procédé au travail de l'acier n'est pas moins avantageux.

Voilà, ce me semble, des garanties suffisantes pour indiquer ce nouvel emploi de l'air chauffé pour les foyers où l'on réchauffe le fer massiau, afin de l'étirer en barres.

3° L'échauffement de l'air se ferait d'une manière simple, comme à Laufen, dans la chaufferie dont je viens de parler, c'est-à-dire en le faisant circuler dans des tuyaux de fonte qui traverseraient horizontalement la cheminée par laquelle s'échappent la flamme et la fumée (2).

On verrait plus tard s'il ne conviendrait pas de placer deux tuyères dans le foyer, un peu agrandi, et cela pour faire plus d'ouvrage, dans le même temps, et en employant un marteau à volant : cela serait utile, surtout parce qu'une seule chaufferie, telle qu'on les établit actuellement, suffit à peine pour étirer le fer produit par un fourneau à réverbère.

S'il se trouvait deux foyers de chaufferie rap-

---

(1) 3ᵉ série, tom. VI, pag. 37 ; et tom. X, p. 193 et 467.

(2) Nous donnerons les dessins des feux d'affinerie de Laufen, où l'on voit cette même disposition.

prochés et disposés de manière que l'on pût en réunir les flammes pour élever la température de l'air, et chauffer un four de préparation pour le fer, les dispositions précédemment indiquées deviendraient encore plus économiques à établir, et d'un effet plus avantageux que dans le cas d'un seul feu.

Enfin, on pourrait aller plus loin encore dans la voie des innovations, et en procédant toujours par des essais : ce serait d'employer pour brûler la houille, et dans les mêmes foyers, un mélange d'air et de vapeur d'eau, l'un et l'autre élevés à une certaine température. Ce procédé, dont j'ai indiqué dès l'année 1835 (1) diverses applications qui me paraissent mériter d'être soumises à l'épreuve de l'expérience, est en usage pour les forges de maréchal, à Stuttgard : je l'ai vu mis en pratique pour travailler des pièces de carrosserie. On y trouvait de l'économie sur le combustible, mais on insistait surtout sur ce que le fer éprouvait moins de déchet qu'en le chauffant par la méthode ordinaire, et que sa qualité n'était point altérée dans l'opération.

J'ai rapporté à l'école des Mines une forge de cette espèce, et l'essai en sera fait incessamment pour forger et souder des barres de fer et d'acier.

Considérations générales.

Considérations sur la substitution de la houille au charbon de bois dans l'affinage de la fonte.

Lorsqu'on emploie la méthode champenoise pour affiner de la fonte obtenue avec du charbon de bois, les consommations sont à peu près de 1.500 kilogrammes de houille, au plus, et de

(1) *Nouveaux procédés pour fabriquer la fonte, le fer*, etc.

1.450 kilogrammes de fonte, pour 1.000 kilog. de fer marchand fabriqué.

Pour extraire cette dernière quantité de fonte, des minerais de fer, on a brûlé environ 2.175 kil. de charbon de bois, à raison de une partie et demie pour une de fonte.

Ainsi donc, pour fabriquer 1.000 kilogrammes de fer en barres, on a consommé 2.175 kilogrammes de charbon de bois, plus 1.500 kilogrammes de houille; en tout 3.675 kilogrammes de combustibles, l'une et l'autre espèce pouvant produire à peu près la même quantité de chaleur, ou possédant un pouvoir calorifique d'environ 6.000 unités ou calories.

Lorsqu'on affine des fontes par l'ancien procédé des feux d'affinerie, on consomme la même quantité de 1.450 de fonte pour 1.000 kilogrammes de fer marchand, et en charbon c'est à peu près le même poids que celui de la houille brûlée dans l'affinage champenois, savoir : 1.500 kilogrammes (ou une partie et demie pour 1 de fer), et souvent davantage.

D'après cela, 1.500 kilogrammes de charbon de bois étant remplacés, dans le nouveau procédé (et en donnant le même résultat métallurgique), par un même poids de houille, la substitution de l'affinage champenois à l'ancienne méthode, et en la supposant générale (1), laissera donc libre et disponible, pour fabriquer de la fonte, 1.500 kil. de charbon par 1.000 kilogrammes de fer en

(1) Il faut y comprendre tous les procédés dans lesquels la houille a remplacé le charbon ; mais celui de la Champagne est jusqu'ici le seul qui puisse s'appliquer aux petites forges et devenir d'un usage général ainsi qu'on l'a vu.

barres fabriqué; or, puisque c'est cette même quantité de charbon qui est consommée dans les hauts-fourneaux pour obtenir 1.000 kilogrammes de fonte, ce sera donc aussi 1.000 kilogrammes, c'est-à-dire une quantité de fonte égale à celle du fer en barres affiné annuellement, que l'on pourra fabriquer avec le charbon épargné par l'emploi de la houille dans l'affinage de la fonte au charbon de bois.

De ces mêmes données et suppositions, nous pouvons encore conclure que la production annuelle de la fonte au charbon de bois, pourrait être augmentée dans la proportion de 1.000 à 1.450, c'est-à-dire presque comme 2 : 3, ou de moitié en sus de ce qu'elle était avant la substitution de la houille au charbon, pour affiner les fontes au bois.

Cet accroissement dans la production de cette espèce de fonte donnera lieu, toujours en supposant une consommation constante de bois, à une plus grande fabrication d'objets coulés en première fusion, ou bien à une augmentation dans la production du fer en barres, par le procédé mixte, puisque la houille ne manquera dans presque aucune localité du royaume.

L'une et l'autre de ces fabrications sont également importantes; et, si l'on supposait que tout le charbon épargné est employé à produire de la fonte de forge, et que celle-ci est en totalité affinée avec de la houille, l'accroissement dans la quantité de fer en barres fabriquée annuellement, serait proportionnelle à celui de la fonte, ce qui serait énorme; mais il ne faut pas se dissimuler que la transformation des anciennes forges et l'emploi des nouveaux procédés, non-seulement

exigeront beaucoup de temps, mais ne s'étendront peut-être jamais à la totalité de nos usines; de sorte que tous les calculs de statistique auxquels on pourrait se livrer à cet égard, ne conduiraient qu'à des résultats dont on ne pourrait attendre une réalisation ni prochaine, ni complète.

§ IV. *De l'emploi des flammes perdues des fourneaux à réverbère, pour chauffer des chaudières de machines à vapeur.*

Le nombre des fourneaux à réverbère s'accroît chaque jour, surtout en raison de l'extension que prend la fabrication du fer suivant la méthode anglaise; on sait que ce fourneau y est employé pour deux opérations principales, le puddlage et le réchauffage du fer.

Il importe donc de bien connaître ces sortes d'appareils, afin d'obtenir des combustibles qu'on y brûle, les meilleurs résultats, c'est-à-dire d'utiliser la plus grande quantité possible de chaleur, tout en produisant les températures dont on a besoin, dans les diverses opérations dont il s'agit : de plus, et dans le but de diminuer la consommation du combustible, il faut chercher les moyens d'employer à quelque usage, toute la chaleur qui n'est pas absolument nécessaire, ou qui ne peut plus produire d'effet dans l'intérieur de ces fourneaux, et pour chauffer les corps sur lesquels on opère.

C'est sur cet objet qu'il faut principalement appeler l'attention des métallurgistes, car, on ne saurait trop le répéter, donner un emploi utile à la chaleur qui, jusqu'ici a été délaissée et perdue, c'est l'équivalent d'une création de combustible

et lorsqu'elle peut devenir énorme par suite de l'application générale d'un procédé, ce n'est pas seulement une diminution dans le prix de revient des objets fabriqués, qui en résultera, mais une masse considérable de combustible qui deviendra libre, et susceptible d'être employée dans d'autres industries, sans que la fabrication dont il s'agit éprouve aucune diminution ; ou bien même on pourra augmenter celle-ci, en même temps que les prix de vente seront abaissés.

Les perfectionnements, dont nous voulons parler, et dont l'expérience confirme journellement les avantages, dans les usines qui les ont adoptés, n'occasionnent aucun changement notable dans les dispositions principales, ni dans la manière de se servir des fourneaux à réverbère. Il s'agit seulement de ne pas laisser perdre toute la chaleur qu'entraînent, que contiennent, ou sont encore capables de produire, les flammes et les gaz ou vapeurs, résidus de la combustion, après qu'ils ont passé sur la sole, et dont la température et le pouvoir calorifique, bien supérieurs à ce qui peut être convenable pour déterminer un tirage suffisant, dans les cheminées de ces fourneaux, laissent un excédant dont on tire bien rarement parti ; cette négligence vient peut-être de ce qu'on n'en connaît pas toute l'importance? peut-être encore de ce qu'on ignore les moyens d'employer cette chaleur, ou les dispositions qu'il faut prendre à cet effet, etc. ; enfin, on peut craindre qu'il n'en résulte des inconvénients imprévus et auxquels on ne saurait comment remédier?

Nous allons éclairer les uns, rassurer et guider les autres, autant du moins que cela est en notre pouvoir.

Nous entendons parler des fourneaux à réverbère qui travaillent d'une manière continue, le jour et la nuit, tels que ceux dont on fait usage pour fabriquer le fer, et qui ne chôment guère que pendant vingt-quatre heures par semaine ; car, lorsqu'ils ont besoin de grandes réparations, ils sont remplacés par d'autres que l'on met à feu immédiatement, de manière que le nombre des fourneaux en activité est à peu près constant, dans les usines à l'anglaise : or, il est visible et perceptible à l'œil, dans certaines circonstances, qu'il sort par les cheminées de ces fourneaux des flammes très-abondantes (1), et qu'il se perd ainsi annuellement des quantités énormes de chaleur

---

(1) Cela est surtout frappant lorsqu'on est à même de contempler le spectacle que présentent pendant la nuit, les fourneaux métallurgiques, de toute espèce, et particulièrement les fours à réverbère des usines à fer ; voici comment s'exprime, à cet égard, un journal quotidien : « Au bout de *la Gare*, (sur la Seine, au-dessous de Paris) est un petit village appelé *le Beau-Grenelle* ;... il semble que Vulcain y ait établi ses ateliers ; jour et nuit, les machines à vapeur, les cylindres d'une puissance effrayante, broient le fer, la fonte, etc. *La nuit, qu'une flamme s'élève à vingt pieds au-dessus des cheminées*, qui sont hautes comme des obélisques, *on dirait des phares ; les environs sont illuminés à un quart de lieue à la ronde.* » (Feuilleton du *Temps*, du 3 décembre 1837.)

Il semble même que ce soit un des spectacles que les curieux vont chercher en Angleterre : M. Chevalier (*Lettres sur l'Amerique du nord*, tom. 1er, pag. 12), parle, en effet, des voyageurs qui se sont extasiés « *sur l'aspect fantasmagorique des feux de forge pendant la nuit.* » Cependant c'est réellement l'imperfection des procédés de chauffage, ou, tranchons le mot, l'ignorance de notre siècle qu'il faudrait prendre en pitié.

qui pourraient recevoir un emploi utile, ainsi que nous le verrons.

Mais ce n'est pas assez de ces aperçus, bien qu'ils ne puissent être trompeurs, dans ce cas ; il faudrait y joindre des évaluations exactes ou du moins très-approchées, des effets qu'on en peut obtenir; malheureusement on n'a pas jusqu'ici cherché à s'en procurer, ainsi que nous allons le voir; nous ne craignons pas de le dire, la science a manqué à sa mission; peu encouragée, et sans direction, sous le rapport des applications, malgré le nombre des individus capables de bien observer, on n'obtient presque point de résultats ; les données les plus simples sur les opérations journalières des usines, font défaut, lorsqu'on veut se livrer à quelques recherches ou faire quelques calculs économiques sur les procédés de l'industrie ; cependant il serait facile de faire observer des faits, et de se procurer des descriptions d'opérations, de machines ou de fourneaux, et d'avoir des communications intéressantes de toute espèce ; mais ce n'est pas l'objet qui doit nous occuper en ce moment, et je m'empresse d'y revenir.

Pour bien apprécier la quantité de chaleur que possèdent ou peuvent produire la flamme et les gaz qui ont passé sur la sole d'un fourneau à réverbère, ou, pour mieux dire, si l'on voulait déterminer quelle est, dans chaque cas particulier, la portion de cette chaleur, que l'on peut distraire et employer à quelque usage distinct, sans nuire au tirage du fourneau, il faudrait connaître deux choses : la quantité (volume ou poids) des gaz et vapeurs qui sortent du fourneau, et ensuite la température de ces gaz, au moment de leur entrée dans la cheminée, où ils vont se perdre, on

en conclurait aisément ensuite la quantité de chaleur qu'ils contiennent et qu'ils emportent avec eux: resterait encore à savoir s'ils ne renferment pas des parties combustibles susceptibles de brûler au contact de l'air extérieur; on ne suppose guère généralement que cela ait lieu; cependant cela peut arriver, mais d'une manière variable, et peut-être seulement comme la suite d'un mélange imparfait ou d'une trop faible proportion d'air employée pour opérer la combustion sur la grille.

Enfin, en supposant bien connue la quantité de chaleur contenue dans les flammes et gaz échauffés à leur entrée dans la cheminée, ou dans le rampant destiné à les y conduire, il faudrait encore savoir quelle est la température qu'ils doivent conserver (eu égard à toutes les circonstances où l'on se trouve), pour produire, par leur mouvement dans la cheminée, un tirage convenable, et par suite une affluence d'air extérieur, dans la chauffe, ou un courant capable de donner à la combustion sur la grille, toute l'activité dont on a besoin, et d'où dépend la température de la sole.

Mais on n'a pas mesuré la température des gaz et vapeurs, non pas seulement à leur entrée, mais même à leur sortie de la cheminée: seulement, pour quelques fourneaux à réverbère employés dans des fabriques, on a évalué la première à 5 ou 600° c.; à l'extrémité de la cheminée, elle est nécessairement moindre et variable, en raison de la hauteur de celle-ci, de la faculté conductrice de ses parois, et surtout de la quantité d'air qui a été introduite dans la chauffe, et qui s'est mélangée avec les gaz et vapeurs, ré-

sidus de la combustion ; il est évident que ce doit être une des causes les plus puissantes de refroidissement relatif, pour les flammes des fourneaux de toute espèce, en raison de la proportion d'azote qui y restera toujours, et même de gaz oxygène, dans bien des cas ; enfin, c'est une circonstance qui, bien qu'elle soit indispensable pour se procurer une haute température dans ces fourneaux, occasionnera nécessairement une grande perte de chaleur, et par suite une grande consommation de combustible, toutes les fois qu'on aura besoin d'une forte chaleur sur la sole (1).

Cependant, quoiqu'on manque de résultats d'observations, et indépendamment des variations dont nous venons de parler, il est facile de se convaincre de la grande quantité de chaleur, et de l'intensité de la température que possèdent les flammes, vapeurs et gaz chauds des fourneaux à réverbère, au moment où ils passent de la sole dans les rampants ou les cheminées de tirage :

---

(1) D'après un tableau donné par M. Péclet, dans son *Traité de la chaleur* (tom. Ier, pag. 329), on peut admettre que quand les gaz ou vapeurs, résidus de la combustion, sortent à une température de 100 degrés, d'un espace où ils ont échauffé des corps, la perte de chaleur est de *un dixième ;* lorsque l'air est brûlé, à moitié, et la température de la flamme, à l'origine de la cheminée étant de 500°, cette perte est de 60 pour 100 ; enfin, lorsque l'air est brûlé au quart, elle est de 81 pour 100.

On perd donc toujours de la chaleur (ou, ce qui revient au même, du combustible), en raison de la quantité d'air introduite dans la chauffe, relativement à la masse du combustible à brûler, et, bien que cette proportion doive augmenter lorsqu'on veut opérer une combustion très-active sur la grille, car c'est l'unique moyen de produire une haute température, sur la sole.

a). D'abord, et comme nous l'avons dit, la température de ces gaz, en cet endroit, ne peut être au-dessous de celle des parties de la voûte ou de la sole qu'ils viennent de toucher; et, s'il était besoin de preuves, pour démontrer la très-haute température qui a lieu dans cette partie des fourneaux à réverbère employés aux opérations de la métallurgie, il suffirait de rappeler la précaution que l'on prend toujours en construisant ces parties, de les revêtir de briques réfractaires, jusqu'à une hauteur de 5 mètres.

b). Les flammes qui sortent des fours à puddler et à réchauffer le fer, même de l'orifice supérieur de leurs cheminées, sont certainement à une haute température, et capables de porter un corps solide à la chaleur rouge ; on ne peut l'évaluer, dans ce cas, à moins de 5 ou 600° c. Si la flamme que l'on voit sortir par les cheminées de ces fourneaux (dont la hauteur n'est jamais au-dessous de 8, 10 ou 12 mètres) n'existe pas partout, dans ce long canal, il faut supposer, du moins, que les gaz combustibles qui s'écoulent possèdent, au moment de leur contact avec l'air atmosphérique, un degré de chaleur assez élevé pour que leur inflammation ait lieu immédiatement, et pour cela la température ne peut être moindre que 4 ou 500° c.

Il est donc bien certain que les gaz et vapeurs, résidus de la combustion, qui s'échappent et se répandent dans l'atmosphère, par l'orifice des cheminées des fourneaux à réverbère, contiennent encore, au moment de leur sortie, une quantité notable de chaleur, puisqu'ils sont en grande quantité et à une température élevée.

Quant à cette masse de gaz ou à leur volume, on

s'en fera une idée, en considérant que la quantité de houille brûlée dans les chauffes par vingt-quatre heures est d'environ 20 hectolitres, ou 1.600 kilogrammes pour les fours à puddler, et de 1.800 ou 2.000 kilogrammes dans les fourneaux où l'on réchauffe le fer, avant le corroyage. Or, on sait que *les neuf dixièmes* de ce combustible sont convertis en gaz par l'effet de la combustion, et de plus que, pour cette même opération, il s'introduit dans le fourneau, une quantité considérable d'air atmosphérique.

Ainsi, la masse de gaz et vapeurs qui sortent des cheminées des fours à réverbères, par heure ou par jour, est énorme ; de sorte que, bien que la capacité pour la chaleur des substances aériformes, même dilatées, ne soit pas très-grande, le nombre des unités de chaleur entraînées et perdues journellement, avec les flammes dont il s'agit, ne peut manquer d'être immense, et doit pouvoir produire des effets notables, s'il est bien employé.

Maintenant, il importerait de savoir si la température que les gaz possèdent dans la cheminée, est nécessaire, dans sa totalité, pour produire le tirage dont on a besoin, dans chaque espèce de fourneau? S'il en était ainsi, on n'aurait plus qu'à chercher les moyens de tirer parti des gaz et vapeurs combustibles qui peuvent échapper à la combustion, et qui se répandent dans la cheminée.

Ce serait peut-être peu de chose (1); mais tout porte à croire (et ici l'expérience confirme les conjectures, ainsi que nous le verrons) qu'on peut

(1) C'est le contraire qui a lieu pour les gaz et vapeurs sortant du gueulard des hauts-fourneaux à fer.

extraire, pour l'appliquer utilement, une portion notable de la chaleur qu'emportent les flammes, gaz ou vapeurs, et avant de les laisser entrer dans les cheminées de tirage; c'est-à-dire que l'on peut diminuer la température du courant de gaz dans l'intérieur de ces cheminées, sans porter préjudice au tirage, ni à aucun des effets du fourneau, quel que soit d'ailleurs son usage actuel ou les opérations métallurgiques qu'on y pratique.

Il faut, toutefois, user de cette possibilité avec mesure et précaution, et combiner les dispositions, à l'effet d'employer les flammes, de la manière qui a été reconnue, par expérience, comme présentant le moins d'inconvénient.

Il y a divers motifs de penser que le tirage, dans les fourneaux à réverbère, n'augmente pas, et surtout qu'il n'est pas nécessaire qu'il s'accroisse, en raison de l'activité de la combustion, dans la chauffe; de sorte qu'il y a une limite, que la température des flammes peut, sans inconvénient, ne pas outrepasser; s'il en est ainsi (et nous nous réservons le droit de le montrer dans un autre écrit sur les fourneaux à réverbère), on peut disposer de toute la chaleur excédante à celle nécessaire pour maintenir la température formant la limite dont nous venons de parler.

Ajoutons encore que, pour assurer constamment et dans tous les cas le succès des opérations métallurgiques, on a dû se ménager la faculté de produire à volonté et promptement, des températures plus élevées que celles dont on a besoin à l'ordinaire, et pour cela construire chaque fourneau de telle sorte qu'il puisse avoir un fort tirage; souvent, et à cause de cela, on y réunit quelques moyens de modérer le courant d'air, et par suite la température du fourneau, lorsqu'on le juge

convenable; mais il arrive le plus ordinairement que le tirage n'est pas sensiblement affecté d'une certaine diminution, opérée dans la température des flammes, pourvu que les orifices d'entrée et de sortie de la cheminée, restent suffisamment spacieux.

L'expérience prouve, ainsi que nous l'avons dit, que l'on peut employer avec avantage, et sans inconvénient pour le tirage, ou sans crainte de voir diminuer le degré de chaleur que doivent produire les fourneaux, les flammes qui sortent de dessus leur sole, et avant de les laisser entrer dans la cheminée verticale. Il est vrai que l'on a des exemples de ce fait, qu'il en est résulté quelquefois un accroissement dans la consommation du combustible employé dans les opérations; mais cela peut provenir, ou bien de ce que les dispositions dont on a fait usage n'étaient pas bonnes, ou bien, et plus probablement, de ce qu'on a voulu enlever trop de chaleur aux flammes, et qu'on a trop diminué la température du courant dans la cheminée; on conçoit qu'alors le tirage et la chaleur du fourneau ont pu décroître, et qu'il a fallu, pour les ramener au point convenable, augmenter la masse du combustible, en ignition, dans la chauffe.

Au reste, même dans ce dernier cas, il peut encore y avoir de l'avantage à faire servir le combustible brûlé sur la grille, et la flamme qu'il donne, à produire deux effets distincts, qui, s'ils l'étaient par des foyers séparés, consommeraient encore plus de combustible.

Mais, comme c'est alors un calcul spécial à faire, nous nous bornerons à considérer l'emploi des flammes perdues comme ne devant apporter aucun changement notable dans la consommation

des fourneaux, et pour les opérations qu'on y exécute ordinairement.

Il n'est pas certain, d'ailleurs, que l'on connaisse encore les meilleures dispositions à prendre pour employer les flammes des fourneaux à réverbère avec le moins d'inconvénients et le plus d'avantages possibles. Il convient aussi de rechercher les moyens de diminuer la température du courant qui s'établit dans les cheminées, et d'y suppléer par des dispositions qui donneraient lieu au même tirage. Jusqu'ici on a employé, comme compensation d'une faible température, dans les gaz et vapeurs dont le mouvement détermine l'affluence de l'air extérieur dans la chauffe, une grande élévation verticale des cheminées; ce qui est toujours dispendieux : on en voit des exemples remarquables, surtout pour les foyers des machines à vapeur, dont les flammes sont, en effet, considérablement refroidies par le contact des chaudières remplies d'eau, etc.; mais, pour les fourneaux à réverbère, ce serait le cas d'essayer le moyen d'accroissement de tirage proposé par M. Péclet, dans son *Traité de la chaleur* (tom. I et tom. II, p. 512 et 513, § 1612), et qui consiste à donner aux cheminées une grande largeur, au lieu d'une grande hauteur. Suivant ce physicien, ce doit être un procédé très-efficace pour déterminer un mouvement rapide des flammes, sur la sole et dans la chauffe, sans que le courant, dans la cheminée, ait besoin d'une température élevée, et prenne une grande vitesse.

Des divers emplois qu'on a faits des flammes.

Parmi les diverses applications utiles qu'on a faites, ou essayé de faire, des flammes des fourneaux à réverbère, on doit distinguer, et indiquer comme l'une des premières et des plus faciles à

exécuter; celle qui consiste à faire passer ces flammes dans un second four, ou sur une seconde sole, au sortir du premier four, qui reste toujours le principal, et, de beaucoup, le plus fortement échauffé. On voit même, dans quelques usines à cuivre, en Angleterre (1), des fourneaux où il y a trois soles, placées les unes au-dessus des autres, recouvertes d'une voûte, et chauffées par la flamme d'un même foyer. Les fours supérieurs servent à griller des minerais, et en général à préparer les matières qui doivent être fondues sur la sole inférieure.

On ne sait pas au juste jusqu'à quel point cette disposition épargne le combustible; mais il est certain qu'elle est adoptée et en usage, depuis bien des années, dans plusieurs grandes fonderies des Iles britanniques.

Il est un autre emploi des flammes perdues des fourneaux à réverbère, déjà assez répandu (2), et qui est d'une plus grande importance que tous les autres, du moins pour les usines à fer montées d'après le système des Anglais; c'est leur application au chauffage des chaudières de machines à vapeur, celles-ci servant à mouvoir des marteaux, des cylindres, et tous les mécanismes usités maintenant pour dégrossir le fer, le convertir en barres, en rails, en feuilles de tôle, etc.

On voit des usines où les flammes perdues des fours à puddler et à réchauffer, bien employées, suffisent pour produire toute la force motrice

(1) Voyage de M. Dufrénoy, *Annales des mines*, 1.e série, tom. XI, pag. 213, *Pl. II, fig.* 6.

(2) Quoi qu'on en ait dit dans l'une des séances de l'Académie des sciences, de l'année 1837.

dont on a besoin pour travailler le fer fabriqué dans ces fourneaux, telle est l'usine de la Bassindre, près de Nantes, et quelques autres.

Ailleurs, comme à Imphy (Nièvre), à Montataire (Oise), etc., les flammes ne servent que comme auxiliaires, dans le chauffage des chaudières des machines ; leur concours a seulement pour but de diminuer la consommation du combustible brûlé pour se procurer la quantité de vapeur dont on a besoin, et qui serait toujours assuré par le service des foyers établis pour ces machines.

Les dispositions qu'il faut prendre pour conduire les flammes sous les chaudières, pour les diriger ensuite dans les cheminées de tirage, et tout cela sans nuire au succès des opérations qui seront exécutées sans interruption sur la sole des fourneaux, doivent être décrites en détail, au moyen de dessins relevés sur ce qui est mis en pratique avec succès; ce doit donc être le sujet d'un mémoire spécial qui sera publié incessamment, nous l'espérons, par M. l'ingénieur des mines Bineau.

Nous nous bornerons à indiquer, d'après ce métallurgiste, quelques-uns des résultats qu'il a recueillis dans les usines, et qui sont de nature à faire juger des effets ou des services que l'on peut obtenir des flammes perdues des fourneaux à reverbère employés usuellement à la fabrication du fer, ce qui est notre seul but, en ce moment.

En Angleterre, où l'on n'emploie guère que des machines à basse pression et à condensation, on consomme ordinairement 6 kilog. de houille par force de cheval et par heure : or, un fourneau

de chaufferie peut fournir, par un bon emploi de ses flammes perdues, six chevaux de force, c'est-à-dire l'équivalent de 36 kilogrammes de houille par heure; c'est la quantité de combustible qu'on peut supposer devoir être épargnée par-là pendant 24 heures de travail; elle sera de 36 × 24 = 864 kilogrammes. Comme on brûle généralement 100 kilogrammes de houille par heure, dans ces fourneaux, ou 2.400 kilogrammes par jour, c'est *un tiers* de la consommation de ces appareils, qui est ou peut être appliqué à un autre usage, sans que le travail ordinaire ou le produit du fourneau en souffre.

Le four à puddler ne donne guère, par l'emploi de ses flammes, qu'une force d'environ 4½ chevaux, représentant 27 kilogrammes de houille, qui forment aussi le tiers, à peu près, de la consommation de ces fourneaux,

On doit faire observer que si la chaleur développée par les flammes, dont nous venons de parler, était employée à mouvoir des machines à haute pression, qui ne consomment pas autant de combustible ou de vapeur que les autres, les quantités de travail, qu'on en obtiendrait seraient plus considérables; elles pourraient être doubles ou triples de celles que nous venons d'indiquer.

Enfin, si l'on voulait avoir une appréciation, en argent, des effets que peuvent produire les flammes des fours dont il s'agit, et appliquées, comme on vient de le dire, à créer des forces motrices, et en ne considérant d'ailleurs que le combustible qu'elles peuvent remplacer; en admettant en outre, comme cela est réellement vrai dans l'Alsace, la Franche-Comté, la Champagne....., que la dépense faite annuellement pour cet objet

est de 1.000 à 1.200 francs par force de cheval, on trouverait que chaque four de chaufferie peut épargner, ou rapporter, en outre des services qu'il rend journellement, de 5 à 6.000 francs par an; et chacun des fours à puddler, qui se trouvent dans les grandes usines, toujours en nombre triple ou quadruple des chaufferies, une somme d'environ 4.000 francs.

On comprend que, dans toutes ces contrées, et même lorsque la houille ne revient qu'à 25 ou 30 francs la tonne, c'est encore un objet qui ne doit pas être dédaigné par les maîtres de forges.

Conclusions.

Après avoir exposé succinctement, mais avec toute l'exactitude qu'il nous a été possible d'y mettre, l'état de la fabrication du fer en France, et indiqué les perfectionnements qui sont, ou actuellement réalisés, dans quelques usines, ou à l'essai dans diverses contrées, il nous reste à remplir l'obligation que nous nous sommes imposée par le titre même de ce mémoire, d'examiner quel doit être, en général, l'avenir de l'industrie du fer, sur le continent? De chercher quels sont les changements, les déplacements ou les transformations que doivent subir, un peu plus tôt ou un peu plus tard, les forges de diverses sortes que nous voyons actuellement en activité; changements qui dépendront de leur situation, des procédés qu'elles emploient, de l'espèce et du prix des combustibles dont elles peuvent être approvisionnées, etc.?

Enfin, de mettre sur la voie de la solution des questions que chacun doit se faire, pour siuvre

une bonne direction, et échapper tout à fait, ou seulement pour éloigner les atteintes et les suites des révolutions dont cette branche d'industrie est prochainement menacée.

Tel est en effet l'objet principal de notre travail et de nos méditations, objet dont l'importance ne peut manquer d'être sentie par tous les propriétaires et directeurs d'usines à fer, par les possesseurs de forêts, et surtout par l'administration chargée de surveiller l'industrie minérale, d'en encourager et d'en diriger les progrès.

On reconnaît généralement que tous les efforts doivent être dirigés vers l'économie du combustible, comme devant amener le plus promptement et le plus sûrement, cette diminution si désirée dans le prix des fontes et des fers : on est également convaincu que les usines qui consomment du combustible végétal, doivent, pour la plupart, modifier leur manière de travailler; substituer, autant que possible, le combustible minéral au bois et au charbon; mieux employer la chaleur produite dans les fourneaux et foyers; tirer un parti utile des quantités énormes de chaleur qu'on laisse perdre journellement, et la faire servir à la fabrication du fer elle-même.

Notre but a été de guider les maîtres de forges dans la route qu'ils doivent suivre pour opérer les changements dont nous venons de parler; et les détails dans lesquels nous sommes entrés, ainsi que les descriptions de fourneaux, d'appareils et de procédés que nous nous proposons de donner par la suite, suffiront, nous le pensons, pour opérer des perfectionnements utiles; nous ne dissimulons pas notre pensée, savoir, qu'il y a beaucoup à faire, sous le rapport des travaux métallurgiques, et de l'emploi des forces motrices, dan

la plupart des nombreuses usines à fer du centre de la France, de la Bretagne, etc. Il ne nous reste plus qu'à présenter ici le résumé de tout ce qui précède.

Nous avons signalé trois genres de perfectionnements, dans les procédés, et qui, par leur importance comme par leurs avantages bien constatés, dans quelques forges plus avancées que les autres, méritent particulièrement de fixer l'attention : 1° tout ce qui tend à épargner le combustible végétal; comme l'emploi de l'air chauffé, le remplacement du charbon par le bois à l'état ordinaire, desséché ou à demi carbonisé;

2° La substitution du combustible minéral au combustible végétal, toutes les fois que cela peut avoir lieu sans altérer la qualité que doit avoir chaque espèce de produits, et sans élever d'ailleurs le prix de revient de ces derniers; d'après ce qu'on a vu, c'est surtout pour l'affinage des fontes au charbon de bois, et en employant la méthode champenoise, que l'on modifiera avec le plus d'avantage, les anciennes forges;

3° L'emploi de la chaleur que peuvent produire, en quantité considérable, les flammes des hauts-fourneaux et des feux d'affinerie, et celles des fours à réverbère.

L'application des flammes perdues des hauts-fourneaux, au chauffage des chaudières de machines à vapeur, peut avoir une grande influence sur la situation ou le placement de ces fourneaux, en permettant de les établir au milieu des forêts, au centre du combustible et du minerai, dont les frais de transport contribuent ordinairement à augmenter considérablement les prix de revient de la fonte. La chaleur des flammes des feux d'affinerie et des fours à puddler, pourra

également être transformée en force motrice, à l'usage des forges; et, de cette manière, la nécessité des cours d'eau sera abolie; et les usines à fer en deviendront, à peu près, indépendantes, sans accroissement dans la consommation du combustible.

Ainsi, *le combustible végétal réservé pour les hauts-fourneaux, et quelques affineries qui fabriqueront des fers de qualité supérieure;... la chaleur des flammes perdues des fourneaux et foyers, employée à produire des forces motrices très-puissantes, qui n'occasionneront aucune nouvelle dépense de combustible;... l'affinage de la fonte opéré presque exclusivement avec de la houille ou de la tourbe;... l'emploi de tous les moyens connus pour épargner le combustible, dans les opérations de la fabrication du fer......* Tels sont les principes d'après lesquels seront établies, dans un avenir peu éloigné, toutes les usines à fer du continent; telles sont les conditions d'après lesquelles doivent être fondées, et établies les forges à fer, et hors desquelles celles qui existent, ne pourront guère continuer de travailler avec avantage; telles sont les vues que nous recommandons à l'attention sérieuse de tous les intéressés, et même des hommes d'état, et que l'administration ne méconnait pas; elle recueille soigneusement tous les renseignements qui s'y rapportent, elle encouragera tous les essais qui tendent à en accélérer le développement, et avec le concours des ingénieurs des mines, elle ne peut manquer d'en propager de plus en plus la connaissance, et d'en diriger l'application de manière à en obtenir incessamment des résultats importants.

NOTE

Sur les machines soufflantes mises en mouvement au moyen des flammes perdues des hauts-fourneaux à fer (1).

La première machine soufflante, qui ait été mise en mouvement par la flamme du gueulard des fourneaux au charbon de bois, est établie à Échallonge, près de Gray, et due à MM. Laurent et Thomas, ingénieurs civils : l'idée première appartient à M. Dufournel, de Gray, et le brevet a été pris en commun.

Plusieurs machines soufflantes, du même genre, ont été construites successivement. La machine à vapeur la plus forte jusqu'ici est à la forge de Pouancé (Maine-et-Loire), et souffle le haut-fourneau qui produit 80.000 kilog. de fonte par mois, et les deux feux de forges qui l'accompagnent : on n'a jamais besoin de mettre de combustible sous la chaudière.

Il y a, en ce moment, trois autres machines de cette espèce en construction dans le département du Cher : deux à Saint-Florent, et l'autre à Thaumiers, et sous la direction de M. Laurent et compagnie. Ce dernier fourneau est éloigné de tout cours d'eau.

Ainsi se développe l'indépendance de position que doit procurer, aux hauts-fourneaux à fer, l'emploi bien entendu des flammes perdues qui sortent de leur gueulard, et leur application au chauffage des chaudières de machines à vapeur. Mais, jusqu'ici, il n'y en a d'exemples que pour ceux qui consomment du charbon de bois.

---

(1) Cette note se rapporte au § V, 1re partie, page 346 du mémoire précédent.

J'ai cru devoir accueillir la réclamation de MM. Laurent et Thomas, ingénieurs civils, à Paris, à qui un brevet d'invention a assuré la priorité de cette importante application des flammes perdues des hauts-fourneaux. Ils ont déjà fait exécuter plusieurs machines d'après les dispositions qu'ils ont imaginées, et les maîtres de forges seront peut-être bien aise de savoir qu'il y a des personnes qui ont fait leurs preuves en ce genre de construction, et à qui ils peuvent s'adresser avec confiance.

Cependant j'ai appris dernièrement (en février 1838, et seulement par la demande de permission qui en a été faite), que M. Chapard, maître de forges, se proposait d'établir, à Vandenesse, près de Pouilly (Côte-d'Or), un haut-fourneau qui ne consommera que du combustible minéral, coke ou houille, et dont la machine soufflante sera mise en mouvement par la flamme du gueulard. Il n'y aura pas de cours d'eau à portée de cette usine, si ce n'est le canal de Bourgogne. On compte sur une force de 14 ou 15 chevaux : il faut espérer qu'on en obtiendra bien davantage.

NOTICE

Sur la construction des plates-cuves portantes, établies dans les bures et bouxtays de la Vigne et du Vieux-Baneux, par la société charbonnière de la Bonnefin, à Liége ;

Par M. WELLEKENS, Ingénieur des mines, à Liége.

Avant que l'industrie minière ne disposât de ces puissants appareils d'assèchement et d'ascension qu'elle possède aujourd'hui, elle dut nécessairement les suppléer par des constructions spéciales, d'abord simples et faciles comme les obstacles qu'elle avait à vaincre; ensuite, et successivement, plus sérieuses, plus compliquées et mieux entendues, à mesure que les travaux, en se développant, augmentèrent et grandirent les difficultés adhérentes à l'exploitation des mines.

Parmi ces constructions, déjà la plupart oubliées, et dont l'histoire serait, ce me semble, loin de manquer d'intérêt, il en est quelques-unes que leur importance a fait se maintenir et arriver jusqu'à nous. De ce nombre sont les serrements horizontaux, ou plates-cuves, que je vais essayer de décrire avec le plus de précision et de clarté qu'il me sera possible, et telles qu'on les construit dans la province de Liége.

Les plates-cuves sont destinées soit à supporter, soit à refouler, dans une direction exactement perpendiculaire à leur plan, des masses d'eau

plus ou moins considérables, et doivent, par conséquent, présenter, indépendamment d'une absolue imperméabilité, une solidité, ou mieux, une force de résistance relative soigneusement appréciée. C'est donc vers ce double but que doivent tendre, de tous leurs moyens, la science, l'art et le métier.

Malheureusement le rare emploi de ces constructions, d'ailleurs peu connues, fait qu'elles laissent encore beaucoup à désirer sous plusieurs rapports essentiels, surtout lorsque leur portée dépasse $2^m,80$ environ; cependant, et tout imparfaites qu'elles sont, on peut leur devoir encore, ainsi que j'aurai occasion de le démontrer dans le cours de ce travail, d'importants et signalés services. Gardons-nous donc de les repousser; faisons plus sagement, étudions-les, et tâchons d'en compléter à la fois la théorie et l'application; car elle n'est pas encore épuisée la liste des exploitations qui, riches, actives et florissantes la veille, peuvent se trouver, le lendemain, entièrement submergées et désormais sans valeur. Ce sont là, en Belgique surtout, des catastrophes de tous les jours, de tous les instants; à chaque pas qu'y fait le mineur, d'anciens travaux inondés, dont la tradition n'a pas même conservé le souvenir, s'y révèlent incessamment par l'irruption des immenses et intarissables amas d'eau qu'ils recèlent. Heureux alors, si avec la ruine de l'établissement on n'a pas à constater la mort d'une centaine d'ouvriers !

C'est au jour de ces grands désastres que les constructions qui vont nous occuper acquièrent toute leur valeur, se montrent dans toute leur utilité, en donnant les moyens soit d'arrêter les

progrès de l'inondation, soit d'en tarir la source, quelquefois assez abondante pour fournir au delà de 10.000 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures.

Entre autres exemples que je pourrais citer à l'appui de ce qui précède, je choisirai, comme le plus récent et le plus complet, celui que nous offre la submersion totale, il y a douze ans, de l'exploitation charbonnière de la Plomterie, située au faubourg Sainte-Walburge, à Liége, et dépendante de la concession de la Bonnefin, appartenant à MM. Orban, Beghein et compagnie.

Ce siége d'exploitation, l'un des plus productifs que possédât alors cette société, et auquel se rattachaient, indépendamment de nombreuses galeries à travers bancs, 320 voies de roulage et d'aérage, mesurant la plupart 5 à 900 mètres de longueur sur 2 mètres de haut et 2 à 3 mètres de large, fut, inattenduement et en peu d'instants, complétement inondé, dans la soirée du 15 septembre 1825, sans que l'on eût, grâce aux échelles inclinées dont cette mine se trouvait pourvue, et qui permirent aux quarante-deux ouvriers qu'elle renfermait d'en sortir instantanément, de plus grand malheur à déplorer.

Ce ruineux événement, qui a coûté sept ans d'efforts inouis, et, suivant l'estimation des concessionnaires de la Bonnefin, près de 800.000 fr. de dépenses, fut déterminé par un trou de sonde foré au front de l'une des tailles alors en activité dans la couche dite du Maret, et qui déboucha fortuitement à d'anciens ouvrages noyés, exécutés dans le même gîte par les bures F, G et K (*Pl. VI, fig.* 2), de la Vigne, du Vieux et du Nouveau-Baneux, situés plus à l'est, vers le faubourg

Wivegnis. L'excessive impétuosité, avec laquelle les eaux jaillirent tout à coup, rendit, du moment même, vains et inutiles tous moyens de reboucher l'ouverture, incessamment croissante, qui leur livrait passage; la broche, présentée à plusieurs reprises, à l'orifice du trou de sonde, fut chaque fois violemment repoussée (1).

Après de nombreuses et pénibles investigations, nécessitées par le manque absolu de renseignements sur l'étendue et la position précise des bains que l'on venait d'abattre, on put enfin constater que la nourriture d'eau, évaluée à 6.000 mèt. cubes par vingt-quatre heures, affluait en majeure partie des couches Rosier et Pestay, travaillées autrefois par le bure de la Vigne. Il fallait donc, pour parvenir à démerger la Plomterie, chercher d'abord à l'isoler de cet ancien siége d'exploita-

---

(1) Ce ne fut que le 11 avril 1833 qu'on put pénétrer dans la taille par laquelle les eaux avaient fait irruption. Le procès-verbal que j'ai dressé le même jour constate entre autres :

« Que le percement aux eaux des ouvrages de la Vigne » s'est opéré par le trou de sonde droit du vif-thier de la » taille de la troisième cœstresse, sur la deuxième montée, » en un point situé à 980 mètres à l'est-sud-est de l'axe » du puits d'extraction de la Plomterie, en suivant les ga- » leries souterraines; et à 683 mètres de ce bure en ligne » droite formant avec le vrai nord un angle de 103° 50'.

» Que cette taille, ainsi que toutes les autres de cette » partie de l'exploitation, était constamment précédée » d'un sondage régulier, composé : 1° de deux pareusages, » longs de 10 mètres chacun; 2° de deux trous droits, de » 11 mètres; et 3° de deux concœstages, de 10 mètres en- » viron de longueur.

» Que le massif de houille enlevé par les eaux avait, au » moment de l'accident, une largeur de $9^{m},50$; il présente » actuellement une surface de $57^{m.\,car.},40$, et sa section

tion. Mais c'était là une vaste et surtout difficultueuse entreprise, capable d'en imposer à la meilleure volonté; car les travaux dépendants de ce puits se trouvaient non-seulement en communication, par œuvre des couches Pestay, Grande-Veine et Maret, avec ceux des bures du Vieux et du Nouveau-Bâneux, mais recevaient encore, par filtration, les eaux d'anciens ouvrages exécutés plus vers le nord-est. A toutes ces sources il faut encore ajouter celle produite par le terrain meuble et alluvien qui sert de lit à la rivière de Meuse, et avec lequel on s'était mis si imprudemment en relation, il y a trente ans, par œuvre de la couche Maret et le puits du Nouveau-Baneux.

Tel était l'inextricable dédale où la société de la Bonnefin allait avoir à s'engager, en tant qu'elle voulût sauver son exploitation, et elle eut le courage de le vouloir. Se confiant aux lumières

---

» transversale du côté de la Vigne, 3 mèt. c. environ.
» La puissance de la couche Maret est, sur ce point, » de $0^m,68$, y compris un petit lit de havage de $0^m,02$; » l'ouverture a $4^m,41$ de largeur. Ainsi, ce massif de veine » a cédé sous le poids de 390.000 kilog., la colonne d'eau » étant de 130 mètres environ.

» Que le trou de sonde avait un diamètre de $0^m,037$; » et, placé près du mur de la couche, l'eau qui en est sor» tie dans les premiers instants, agissant avec une force égale » au poids de 139 kilog. 490 gram. environ, il eût été ex» cessivement difficile au foreur de boucher le trou, et de » prévenir ainsi ce malheureux événement, lorsque l'on » considère surtout que cette pression continue s'exerçait » sur une surface égale à celle d'une pièce de cinq francs.

» Que la nourriture d'eau des ouvrages actuels de la » Vigne et du Baneux, réunie à celle de la Plomterie, est » épuisée par une machine à vapeur de la force de 100 che» vaux fonctionnant continuellement.

» Que, etc., etc. »

et à l'expérience de M. l'ingénieur des mines De Vaux, alors chargé du service du cinquième district, et de M. Orban, l'un de ses principaux actionnaires, elle accepta d'exécuter, et elle eut le bonheur d'amener à bien, sous leur prudente direction, les plates-cuves 1, 2, 3, 4, 5 et 6, ainsi que les cuvelages OO, O'O', PP, P'P', indiqués à la *Pl. VI*, *fig.* 2.

Ces nombreuses et difficiles constructions eurent lieu successivement, au fur et à mesure que les eaux cédaient le terrain à l'action continue et réunie de quatre machines à vapeur d'épuisement et d'une machine à vapeur d'extraction, représentant, ensemble, 416 chevaux de force.

J'aurais beaucoup désiré pouvoir suivre, dans tous ses détails, l'exécution de chacun de ces importants travaux d'art; mais l'essence de cette notice s'y oppose, et m'oblige à me renfermer dans la spécialité que je m'y suis donnée à traiter, la construction des plates-cuves.

Bien que toutes, dans l'exemple que j'ai choisi, aient été exécutées dans le même but et avec les mêmes soins, je donnerai cependant la préférence à la plate-cuve n° 1 (*fig.* 2), parce qu'elle est celle dont l'exécution a été la plus indépendante, et que j'ai surveillée lors de sa reconstruction en 1835 (1).

L'ancien puits d'extraction abandonné, dit de la Vigne, qui devait la recevoir, affecte générale-

(1) A cette époque j'ai constaté la nourriture d'eau des couches Rosier et Pestay, aux bures de la Vigne et des Baneux : elle était de 2$^{m. cub.}$,10 par minute.

ment la figure d'un rectangle irrégulier de $5^m,20$ de long sur $3^m,34$, à peu près, de largeur.

La roche de ses parois soigneusement interrogée et reconnue parfaitement saine à une distance inférieure de quelques mètres au mur de la couche Pestay, on commença par exécuter en ce point, et sur tout le pourtour du puits, une entaille ou banquette horizontale (*fig.* 4) de $0^m,35$ dans les courtes parois, et $0^m,40$ dans les longues, destinée à supporter la charpente constituant la plate-cuve. Cette opération, confiée à des ouvriers sûrs et exercés, fut entièrement exécutée au pic, d'abord pour ne point étonner la pierre, ensuite afin d'obtenir de toutes parts des plans vifs et bien unis. Lorsque cette coupure fut achevée et vérifiée de niveau, on la revêtit d'un châssis en bois de chêne, de même largeur qu'elle, et de $0^m,12$ d'épaisseur. Ce cadre K (*fig.* 4), destiné en même temps à protéger la roche et à faciliter le jeu des pièces de cuve au moment du picotage, avait été, au préalable, et dans ce double but, dressé sur ses deux grandes faces, de manière à les rendre aussi lisses que possible.

Ce travail préparatoire convenablement terminé, on s'occupa, sans désemparer, de la mise en place des poutres ou pièces de cuve ; celles-ci étaient en bois de hêtre, et d'une largeur moyenne de $0^m,45$ sur $0^m,55$ environ de profondeur ; quant à leur longueur, qui dut nécessairement varier un peu par suite de l'irrégularité des parois du puits, elle fut ainsi calculée qu'il restât, entre leurs extrémités et les longs côtés de celui-ci, auxquels elles étaient perpendiculaires, un vide yy et $y'y'$ (*fig.* 3), de $0^m,04$ à $0^m,05$. Toutes ces poutres, destinées à être placées de champ, avaient

d'abord été à cette fin parfaitement dressées à leurs extrémités, et dans le sens de leurs deux grandes faces, de manière à les rendre exactement jointives; on avait aussi cru convenable de dresser également celle des deux autres faces, qui devait former le sol du plancher; la quatrième fut laissée en grume.

La pose de ces pièces ainsi préparées, au nombre de 12, eut lieu successivement dans l'ordre où je les ai numérotées, et parallèlement aux petits côtés du bure, afin de leur donner le moins de portée possible. La dernière, n° 12 (*fig.* 3 et 4), nommée clef, sans doute à cause de son analogie de fonction avec les claveaux d'une voûte, fut introduite, à frottement dur, entre les cinq pièces de gauche et les six de droite, de façon à faire serrer ces deux systèmes contre les courtes parois du puits.

Toutes choses se trouvant disposées de la sorte, et, avant de commencer le picotage proprement dit, on introduisit d'abord aux joints *s* et *t*, et *u* et *v* (*fig.* 3), un lit de mousse que l'on fit adhérer aux parois du bure; puis un long et large coin en hêtre, la tête en bas; ensuite, et entre ce premier coin et la poutre de bord, on enfonça d'autres coins plus petits, et, en dernier lieu, des picots, le tout à grands coups de masse, afin d'imprimer la mousse dans les moindres aspérités de la roche, et de rendre le contact aussi immédiat que possible entre les pièces composant le plancher de la cuve.

Par l'effet de ce rapprochement forcé, on obtint, entre la roche et celles de ces pièces cotées 1 et 6, un espace libre, xx et $x'x'$ (*fig.* 3 et 4), destiné à recevoir le picotage.

Cette opération, qu'il paraît indifférent de commencer par un côté plutôt que par un autre, fut ainsi conduite : on plaça d'abord, et simultanément, dans chacun de ces vides, le plus près les uns des autres qu'on le put, et la tête en bas, des coins en sapin ou en bois blanc, préalablement séchés au four, d'une hauteur à peu près égale à celle des pièces de cuve, c'est-à-dire de $0^m,55$, et ayant, en général, $0^m,08$ à $0^m,10$ de largeur sur $0^m,028$ à $0^m,035$ d'épaisseur à la base; entre ces coins et la paroi du puits en regard, on introduisit, en la bourrant jusqu'au refus, de la mousse fine et bien triée; cette opération préparatoire terminée, on commença à introduire la pointe en bas, et, des deux côtés à la fois, entre ce premier rang de coins et les pièces de cuve qui leur faisaient respectivement face, de nouveaux coins, aussi en sapin et de même forme et dimension que les précédents, dont l'action immédiate fut de comprimer fortement contre la roche, la mousse comprise entre elle et les coins déjà placés.

Lorsque les coins en bois de sapin refusèrent d'entrer, on leur en substitua d'autres en saule, également séchés au four, mais moins longs que les premiers, et n'ayant guère plus de $0^m,05$ à $0^m,06$ de largeur et $0^m,02$ d'épaisseur à la tête. Pour faciliter leur introduction, et prévenir qu'ils ne s'épointassent, on dut leur ouvrir la voie à l'aide de ciseaux de menuisier; enfin, et lorsque l'emploi de ces seconds coins devint, à son tour, impossible, on leur en fit succéder d'autres, partie en bois de hêtre, partie en bois de chêne, nommés *picots*, et ayant la forme d'une pyramide quadrangulaire de $0^m,03$ de côté à la base, sur une hauteur moyenne de $0^m,25$.

Bien que ces derniers coins fussent, de leur essence, plus résistants que ceux qu'ils remplaçaient et que le haut degré de dessiccation auquel ils avaient été amenés, ajoutât encore à leur solidité, il eût néanmoins été impossible, avec les seuls procédés suivis jusque-là, de les faire pénétrer dans la masse déjà excessivement compacte formée par ceux qui les avaient devancés ; on dut, à cette fin, substituer aux ciseaux de menuisier une sorte de poinçon en fer, nommé *picoteur*, à peu près de même forme que les coins auxquels ils devaient frayer le passage, et trop généralement connu pour qu'il soit nécessaire d'en donner ici une description plus détaillée.

Le picotage, la dernière, en même temps la plus importante des diverses opérations que j'ai successivement fait connaître, ne fut regardé comme complet et achevé qu'alors que le picoteur refusa lui-même absolument le service.

Je l'ai dit, à dessein, la plus importante, l'opération du picotage, parce qu'elle est, de toutes, celle qui détermine au plus haut point, non-seulement entre les pièces de cuve, mais encore entre celles-ci et les parois du puits, cette immédiateté de contact, cette quasi pénétration d'où dépendent à la fois l'imperméabilité et la solidité de cette construction, qui tendra d'autant moins à fléchir et à se déformer, que les frottements à vaincre seront plus considérables.

Cette première partie du travail terminée, on procéda immédiatement à fermer, par un picotage en tout semblable à celui qu'on venait d'exécuter, l'intervalle yy et $y'y'$ (*fig.* 3) de $0^m,04$ à $0^m,05$, que nous avons vu avoir été ménagé

entre l'une et l'autre extrémité de chaque pièce de cuve et les longs côtés du bure.

Cette manière de clôturer le picotage n'est pas, comme on pourrait quelquefois le supposer, arbitraire et gratuite; car bien qu'il soit indifférent, ainsi que je l'ai énoncé en tête de cette notice, de picoter seul à seul ou simultanément les vides xx et $x'x'$, parallèles aux courtes parois du bure, et résultant du *calage* exécuté aux points s et t, et u et v (*fig.* 3); ces vides n'en doivent pas moins, pour cela, être soumis les premiers à cette opération; autrement, je veux dire, si elle avait d'abord lieu par les côtés en regard avec les extrémités des pièces de cuve, celles-ci se trouveraient invariablement fixées, et, quelle que fût la pression qu'on exerçât ensuite dans le sens opposé, il serait impossible de les faire bouger de place, et d'obtenir, par conséquent, ce contact absolu indispensable au succès de l'entreprise.

Quelque bien dressés qu'eussent été les côtés jointifs des pièces de cuve; quelque intime que fût leur rapprochement; enfin, quelques soins qu'on eût apportés dans l'exécution de chacune des opérations précédemment décrites, l'expérience avait appris que tant et de si minutieuses précautions n'étaient pas toujours suffisantes pour empêcher l'eau de fuir. On crut donc prudent de calfater chaque joint, d'abord avec de la mousse très-fine, ensuite avec du chanvre, que l'on fit entrer, l'une et l'autre, au moyen de ciseaux semblables à ceux dont on se sert dans les chantiers.

Après ce calfatage, qui fut exécuté aussi soigneusement que possible, on plaça, à chacune des extrémités des pièces de cuve, des espèces d'étançons, a, a, a (*fig.* 3, 5, 6, 7 et 8), s'appuyant

d'une part contre la partie supérieure de l'entaille faite dans la roche pour asseoir la charpente de la plate-cuve, de l'autre contre cette charpente elle-même, et destinés à s'ajouter aux autres moyens déjà employés dans le but de s'opposer à la flexion de celle-ci.

Ainsi préparée, la plate-cuve, dont je viens de faire connaître les principaux détails d'exécution, fut enfin livrée à sa destination, après toutefois qu'on eut bouché hermétiquement, à l'aide de longs tampons en bois de hêtre, bien secs et enveloppés d'un mélange de lin et de chanvre, les trous *b*, *b*, *b* (*fig.* 3, 4, etc.), forés dans celle de ces pièces cotée n° 2, pour évacuer, pendant toute la durée des travaux, une partie des eaux que cette construction était destinée à refouler.

L'aire de cette plate-cuve, de même que celle des cuves n°s 5 et 6, est de $24^{m.c.}$,426, et la hauteur de la colonne d'eau que ces deux dernières avaient à supporter avant l'accident du 7 août 1828 étant estimée à 50 mètres, leur charge était donc respectivement de 1.221.300 kil.; soit 101.775 kil. par pièce de cuve.

La cuve n° 1, de même que les autres ouvrages d'art auxquels elle se rattache, furent, comme je l'ai déjà dit, exécutés avec toute la promptitude possible, afin de se débarrasser au plus vite de la grande quantité d'eau provenant des anciennes excavations pratiquées dans les couches Rosier, Pestay et Grande-Veine; car, quelle que fût la puissance des machines d'épuisement, le moindre dérangement survenu à l'une d'elles faisait de suite hausser les eaux, et obligeait ainsi à suspendre les travaux. Mais, du moment où les trois gîtes furent définitivement isolés du champ d'exploitation

inondé, le succès de l'entreprise, jusque-là douteux et incertain, cessa aussitôt d'être révoqué en doute, puisqu'il ne restait plus à épuiser que les eaux qui avaient fait irruption, augmentées de la nourriture ordinaire et connue provenant des travaux de la Plomterie, plus la venue fournie par la couche Maret au Nouveau-Baneux, et s'élevant à peu près à 600 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Les diverses constructions hydrauliques qui amenèrent cet heureux et immense résultat furent toutes terminées au mois de juin 1827. Le 7 août de l'anné suivante, la plate-cuve n° 5 s'est rompue. Pour y avoir accès, il a fallu enlever plusieurs pièces du cuvelage O′O′ du puits d'extraction du Nouveau-Baneux, et établir une communication entre celui-ci et le bure de la Vigne, par œuvre de la couche Grande-Veine *hh* (*fig.* 2). C'est par cette voie que l'on a reconstruit les deux plates-cuves simples n°s 5 et 6, en les renforçant d'un système de charpente en bois de chêne, représenté en coupe (*fig.* 5).

Ce dessin faisant connaître d'une manière, que je crois suffisante, les détails de construction de cette charpente, je me bornerai à faire observer qu'elle ne peut être employée qu'autant que la roche est saine, compacte et sans fissures; car elle affaiblit sensiblement la solidité de la banquette sous laquelle on a dû tailler vingt potelles, pour y loger les poussards L et les arcs-boutants M (*fig.* 5). Ce troisième point d'appui W, fixé à égale distance des deux autres, au centre du plancher, où la flexion des pièces de cuve est la plus à craindre, exige dans tout le travail une grande précision d'exécution qu'il est

très-difficile d'atteindre, car, malgré le talent et l'habileté bien reconnue du charpentier chargé de ces constructions, les plates-cuves n°s 5 et 6, bien que construites et renforcées avec une grande solidité, n'ont plus rempli qu'imparfaitement leur objet. Lorsque le niveau d'eau dépasse la ligne $x'x'$ (*fig.* 2), il pleut au fond du bure, ainsi que du bouxtay de la Vigne, phénomène qui ne peut être attribué à des fissures qui se seraient opérées dans la roche, car alors l'écoulement serait continu, mais bien à la flexibilité des pièces de cuve.

Quoi qu'il en soit, par suite de ce fâcheux résultat, on a dû provisoirement ôter une des pièces du cuvelage PP du bure I, afin que le trop plein de la nourriture de la Grande-Veine puisse être pompé par la machine d'exhaure du Baneux, ce qui rend provisoirement inutiles et les cuves n°s 5 et 6, et les cuvelages PP et P'P'.

Lors de la construction de la plate-cuve simple n° 1, on avait rempli de terre la partie supérieure du bure jusqu'à fleur du sol : c'est à cette surcharge que j'attribue, en partie, la rupture de cette cuve, arrivée le 17 mars 1835. Pendant ce nouvel accident, les eaux du Pestay et du Rosier, deux pièces de cuve et une partie de la terre que celle-ci soutenait, sont tombées sur les plates-cuves renforcées n°s 5 et 6, sans leur causer le moindre dommage : elles ont très-bien résisté au choc, et supporté l'augmentation momentanée survenue dans la charge contre laquelle elles faisaient habituellement effort.

Pour réparer la plate-cuve n° 1, on a eu recours à un autre système de charpente moins coûteux et d'une exécution beaucoup plus facile que le

premier (voyez *fig.* 6, 7 et 8). Il consiste à s'opposer à la flexion des pièces de cuve par l'addition, ou, plutôt, la superposition d'autant de madriers de même longueur et épaisseur, mais d'une largeur moindre, reliés avec chacune d'elles au moyen des vis en fer *e*, *e*, *e* et des arcs-boutants *d*, *d*, *d*. Les extrémités de ces nouvelles pièces de bois ont été picotées et étançonnées comme les premières. Les poutres du premier plancher qui ont été remplacées portent les nos 2, 3, 4, 5 et 12; trois d'entre elles, encore bonnes, ont été converties en pièces additionnelles, ce sont E, G, H, comme l'indiquent le plan et les coupes (*fig.* 6, 7 et 8). Les cuves nos 2 et 3, ont été renforcées à l'aide des poutrelles I posées en sens inverse : on explique cette modification à la disposition générale, par la nécessité où l'on était de laisser libres les trous *b*, *b*, *b*, pour se débarrasser, pendant cette réparation, des eaux assez abondantes qui affluaient sur le plancher de la plate-cuve.

Les plates-cuves simples, nos 2, 3 et 4, ont, jusqu'ici, parfaitement répondu aux fins de leur construction; et bien que l'on puisse attribuer la rupture des plates-cuves, nos 1 et 5, à leur plus grande surface, ainsi qu'à la charge plus considérable qu'elles avaient à supporter, il est néanmoins permis de croire que, s'il eût été possible de choisir des pièces de cuve saines et sans défauts, ces accidents ne seraient point arrivés, car les poutres rompues renfermaient toutes un nœud caché.

Du reste, le système représenté *fig.* 6, 7 et 8, et appliqué en dernier lieu à la cuve no 1, semble devoir obtenir la préférence pour tous les puits

dont le petit côté ne dépasse point 3^m,50 de longueur; car, avec une plus longue portée il serait imprudent de faire supporter une colonne d'eau de plus de 70 à 80 mètres de hauteur, même au meilleur des deux modes de construction dont je viens de m'occuper, et qui ne peuvent d'ailleurs être utilement employés que dans les terrains en plateure.

Ces considérations fixèrent en 1833 l'attention de M. l'ingénieur en chef de la 3e division des mines (provinces de Liége et de Limbourg), et l'engagèrent à étudier, d'une manière spéciale, ce genre de constructions, sous le double rapport de la solidité et de la durée, conditions essentielles sans lesquelles ces serrements seraient plutôt nuisibles et dangereux qu'utiles. Il déposa le résultat de ses recherches dans une note du plus haut intérêt, lue à la séance de la société des sciences naturelles de Liége, du mois de mars 1833, et dans laquelle, tout en accordant une entière confiance au système représenté par les *fig.* 3 et 6, comme plate-cuve portante ordinaire, M. de Vaux propose de remplacer le mode de charpente employé pour renforcer les plates-cuves n°s 5 et 6, établies dans le bure de la Vigne (voyez *fig.* 2 et 5), par l'une des deux dispositions suivantes :

« Si la pierre des parois est très-saine, très-solide et très-compacte, adopter la disposition représentée *fig.* 9, dans laquelle les pièces de cuve P ont une force suffisante pour ne pas rompre sous la charge, et pénètrent au moins de 0^m,60 de part et d'autre dans les parois. »

Ces pièces portent sur celles C, C, destinées à garantir les angles *m* de la pierre. Elles n'ont pas besoin d'être picotées vers leurs extrémités,

mais les pièces Q, qui règnent sur toute la longueur des grands côtés du bure, et qu'on ne place qu'après avoir rapproché les cuves, par un picotage sur les courtes parois, et garni les joints, sont calfatées en *n* et picotées en *r*, de manière à empêcher tout passage à l'eau, et à s'opposer à ce que la pression supportée par la plate-cuve ne produise de disjonction vers les extrémités.

Les pièces Q, fortement serrées entre la pierre et les cuves, contribueront d'ailleurs aussi, plus encore qu'un bon picotage, à la rigidité de ces dernières, et éloigneront d'autant les chances de dislocation, vers les deux cuves extrêmes, qui ne peuvent participer à la courbure générale, sans se détacher un peu du picotage qui les sépare des parois.

Une pareille plate-cuve servirait, aussi bien, pour repousser que pour porter de l'eau; mais la pierre doit être excessivement solide, puisque, dans le cas d'une plate-cuve portante, les angles *h* reçoivent, par moitié, l'effort résultant, de l'eau agissant à l'aide d'un puissant levier, et les angles *m* doivent résister au même effort, augmenté du poids de l'eau et des cuves. Le contraire a lieu dans le cas d'une plate-cuve refoulante.

Quelque simple que soit cette disposition, et quelqu'efficace qu'elle paraisse, M. de Vaux n'hésite cependant pas, quand bien même la pièce réunirait toutes les conditions requises, à lui préférer celle représentée *fig.* 10, dont il recommande particulièrement l'emploi lorsque les parois laissent quelques doutes sous le rapport de la solidité ou de l'imperméabilité.

La voûte cylindrique à plein cintre V, est

construite en pierre de taille, de bonne qualité, et susceptible d'une très-grande résistance. Pour éviter tout tassement sensible, il remplace le mortier par de petites cales de plomb (1) très-minces, et il tient surtout la main, à ce que les joints soient parfaitement plans et taillés au fin ciseau.

Il donne aux voussoirs, au moins $0^m,60$ de longueur. Il remplit tout l'espace E compris entre la voûte, les parois et la plate-cuve P, de graviers, gros et fin, ou de toute autre matière que l'eau ne puisse délayer, et de manière à ne laisser aucun vide dans ce remblai, qu'il termine par une surface parfaitement plane, sur laquelle il fait reposer sa plate-cuve. Il est évident, du reste, que la plate-cuve, n'étant plus destinée à résister à la charge de l'eau, mais seulement à rendre étanche le fond sur lequel elle repose, il peut de cette manière diminuer de beaucoup, les dimensions des pièces qui la composent, et par conséquent les difficultés de la main-d'œuvre qu'elle exige. Il évite, en outre, l'obligation d'allonger ses pièces, pour leur donner un point d'appui sur la roche, et par suite d'ébranler autant celle-ci, puisqu'il ne l'entaille point, dans la partie du picotage.

Si l'on avait à opérer dans un terrain à *stratification* verticale et non plus horizontale, comme dans l'exemple précédent, il serait alors préférable de substituer au plein cintre une voûte surbaissée, et de donner une plus grande surface d'assise

(1) Dans les mines de la province de Liége, on emploie, depuis quelques années et avec succès, au lieu de mastic, avec lequel on ne bouchait qu'imparfaitement les joints des corps de pompes, des anneaux aplatis, en plomb, enveloppés d'une bande de flanelle.

aux voussoirs extrêmes, afin d'augmenter la résistance de la roche aux poussées qu'elle a à supporter (voyez *fig.* 11).

Enfin M. de Vaux termine par émettre l'opinion qu'en construisant avec du bon mortier hydraulique la voûte V (*fig.* 10), et remplissant l'extrados et le puits sur une hauteur de cinq à six mètres, de bon béton, on serait dispensé de toute construction en charpente; et que, dans le cas où la roche ne serait pas saine, on atteindrait bien plus sûrement encore le but qu'on se propose. On ne prévoit d'ailleurs pas le terme de la durée d'une pareille construction.

Les systèmes représentés *fig.* 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10 et 11 présentent des avantages et des désavantages qui doivent nécessairement varier suivant les dimensions des puits, et l'état des lieux où il s'agit de les établir; mais, aujourd'hui que l'on a adopté la division des bures en trois ou quatre compartiments et que le petit côté ne dépasse que rarement 1^{m},35 à 1^{m},75, il n'est guère probable que le cas se reproduise encore de devoir établir de plate-cuve dans des proportions telles que celles n°s 1, 5 et 6 de *fig.* 2. Je crois donc que la disposition des *fig.* 5, 9, 10 et 11 offrent toute garantie; seulement, et, pour les cuves dont la portée ne dépasserait pas 2 mètres, j'adopterais le système *fig.* 6, et emploierais de fortes poutres, afin de diminuer de moitié les joints, et des trois quarts les frais de la main-d'œuvre, car la taille au ciseau fin des quatre faces en contact de chaque voussoir en pierre exigerait beaucoup de temps.

EXPLICATION DE LA PLANCHE VI.

Figure 1.

Plan général indiquant la position des puits.

Figure 2.

Projection verticale passant par l'axe des bures de la Vigne et du Bayard, dit Saint-Georges.

A, A' Bure et bouxtay d'extraction de la Plomterie.
B, B' Puits et bouxtays d'épuisement de la Plomterie.
C, C' Ancien siége d'exploitation dit Payenport, en communication avec la Vigne par œuvre des couches Rosier et Pestay : on y exploitait cette dernière en 1577, et le Crusny en 1622. Il sert actuellement de puits d'eau à la citadelle. Sa profondeur n'est point connue; on présume qu'il n'a pas été plus bas que le Pestay; il est rempli de pierres jusqu'à 7 mètres en dessous de la couche Parvon.
D Tablette du pont Maghin : point de repère.
E Niveau de la rivière de Meuse.
F Bure d'extraction et d'aérage de la Vigne.
G Bure d'extraction du Vieux-Baneux.
H Fosse d'aérage dite royon du Vieux-Baneux.
I Puits d'épuisement du Nouveau-Baneux, construit postérieurement à l'inondation de 1825.
K, K' Bure et bouxtay d'extraction du Nouveau-Baneux.
M Bure Bayart, dit Saint-Georges.
L Point où les eaux du gravier de la Meuse tombent sur les vides de la couche Maret.

Ouvrages de la Vigne.

F' Bouxtay, dit du Pestay, communiquant du Pestay à la Grande-Veine.
F'' Bouxtay de Grande-Veine, communiquant de Grande-Veine au Maret.

F''' Bouxtay du Maret, communiquant du Maret au Raignon (4 pieds).

N° 1. Plate-cuve, d'abord simple, puis renforcée à la suite de l'accident du 17 mars 1835.

N° 2. Plate-cuve simple.

N°s 5 et 6. Plates-cuves, d'abord simples, puis renforcées à la suite de l'accident du 7 août 1828.

N Trous de sonde de la couche Pestay à la couche Houlpay, par lesquels une partie des eaux s'écoulaient pendant la construction de la cuve n° 1.

$x x$ Tête d'eau actuelle aux couches Rosier et Pestay. Elle varie suivant le niveau de la Meuse.

$x' x'$ Tête d'eau actuelle aux couches Houlpay et Grande-Veine.

Ouvrages du Vieux-Baneux.

N° 3. Plate-cuve simple dans le bure d'extraction.

N° 4. Plate-cuve simple dans la fosse d'aérage ou royon.

Ouvrages du Nouveau-Baneux.

OO et O'O' Premiers cuvelages pour retenir les eaux du Pestay.

PP et P'P' Deuxièmes cuvelages pour retenir les eaux de la Grande-Veine.

Q et Q' Voies d'écoulement pour le trop plein de la nourriture de la Grande-Veine (au bure de la Vigne) pratiquées provisoirement et jusqu'à ce que l'on ait rendu imperméables les plates-cuves renforcées n°s 5 et 6.

R Relèvement des couches.

Figure 3.

Plan horizontal, pris à la hauteur de la ligne TU *de* fig. 4, *des plates-cuves simples n°s* 1, 5, 6, *avant les accidents des* 7 *août* 1828 *et* 17 *mars* 1835.

1, 2, 3, 4, 5, 12, 11, 10, 9, 8, 7 et 6 Pièces de cuve.

s, t, u, et *v* Points où l'on a *calé* les pièces de cuve nos 1 et 6 avant de commencer le picotage des courtes parois du puits.

xx, x'x', yy et *y'y'* Picotage.

a, a, a Etançons destinés à maintenir les cuves dans la position horizontale.

b, b, b Trous forés dans la poutre n° 2, et servant à l'écoulement de l'eau pendant le picotage, etc.

FIGURE 4.

Coupe verticale, suivant la ligne PQ *de* fig. 3, *des six plates-cuves avant les accidents déjà cités.*

K Châssis destiné à protéger les arêtes de la banquette et à faciliter le mouvement des pièces de cuve pendant le *calage* et le picotage.

FIGURE 5.

Coupe verticale des plates-cuves renforcées nos 5 *et* 6 *de* fig. 2, *suivant la ligne* RS *de* fig. 3.

W Poutre : troisième point d'appui du plancher de la cuve.

L, L Poussards.

M, M Arcs-boutants } pour maintenir dans leur position les cinq systèmes de charpente placés suivant les lignes RS de *fig*. 3.
N, N Terrasses }

o, o, o Coins et cales en bois destinés à soutenir et à maintenir les diverses pièces composant la charpente.

FIGURE 6.

Projection horizontale de la plate-cuve renforcée n° 1 *de* fig. 2.

1, 2, 3, 4, etc. Pièces de cuve.

A, B, C, D, E, F, G, H et I Madriers renforçant le plancher de la cuve.

d, *d*, *d* Arcs-boutants placés entre les pièces de cuve additionnelles.

e, *e*, *e* Vis en fer, à tête carrée, pour relier les poutres.

FIGURE 7.

Coupe verticale de la plate-cuve renforcée n° 1 *de* fig. 2, *suivant la ligne* VX *de* fig. 6.

1, 7, 8, 9, 10, 11 et 12 Pièces de cuve du premier plancher.

2, 3, 4, 5 et 6 Pièces nouvelles placées à la suite de l'accident du 17 mars 1835.

A, B, C, D, E, F, G, H et I Poutres dont l'usage a déjà été indiqué. Les trois dernières faisaient partie de la première plate-cuve, et ont été converties en pièces additionnelles. On leur a laissé leurs premières dimensions.

FIGURE 8.

Coupe verticale de la plate-cuve renforcée n° 1 *de* fig. 2, *suivant la ligne* YZ *de* fig. 6.

FIGURE 9.

Coupe verticale d'une plate-cuve simple portante ou refoulante, pour un terrain bien sain et à stratification horizontale, dite plateure.

P Pièces de cuve.

C, C Celles ou châssis dont l'usage a déjà été indiqué.

Q, Q Pièces de bois qui règnent sur toute la longueur des grands côtés du bure, calfatées en *n* et picotées en *r*.

FIGURE 10.

Coupe verticale d'une plate-cuve portante pour une mauvaise roche à stratification horizontale.

FIGURE 11.

Coupe verticale d'une plate-cuve portante. Terrain à stratification inclinée, dite roisse.

NOTICE

Sur la constitution de la société des maîtres de forges de l'Ariége.

Le 28 février 1836, les propriétaires de forges de l'Ariége, convoqués à l'hôtel de la préfecture pour avoir à s'y occuper, soit des intérêts commerciaux, soit de l'amélioration de la fabrication des fers, se réunirent au nombre de douze, et décidèrent sur la proposition de M. François, ingénieur des mines, et de M. Espy aîné, qu'avant de s'occuper de l'objet de leur réunion, il était utile aux intérêts généraux des propriétaires de forges qu'une commission choisie parmi eux, et composée de sept membres, fût nommée par eux à la pluralité des voix. Il fut convenu que M. François serait le secrétaire de cette commission. Au dépouillement du scrutin, MM. Avignon aîné, de Tersac, Espy, Saint-André, Victor Vergnies, d'Orgeix, Trinqué, réunirent le plus de suffrages, et furent proclamés membres de la commission.

Cette commission devait s'occuper généralement de ce qui pourrait contribuer au bien-être des fabricants de fer du département. Elle devait juger de la valeur des sacrifices qu'elle aurait à exiger des maîtres de forges pour arriver aux résultats qu'elle se proposait, valeur qui ne pouvait dépasser la somme de 40 fr. par forge, sans qu'elle en prévînt individuellement MM. les propriétaires de forges. Elle était en outre chargée de rédiger un plan des travaux dont elle aurait à s'occuper, et devait le soumettre à l'approbation de MM. les propriétaires de forges.

Le 15 mars 1836, la commission des maîtres de forges, réunie en vertu des pouvoirs qu'elle avait reçus dans la séance du 28 février 1836, arrêta de soumettre à l'approbation de MM. les maîtres de forges le projet suivant :

1° La commission susnommée sera désignée à l'avenir sous le nom de *Comité central des maîtres de forges de l'Ariége*;

2° Le but de ce comité sera à la fois de s'occuper des améliorations métallurgiques, de la publication de ces améliorations, et de tout ce qui est relatif aux intérêts de la fabrication sous le rapport commercial;

3° Le comité choisira dans son sein un président et un secrétaire qui recevront indistinctement toutes les lettres ou renseignements qui leur seront adressés par MM. les propriétaires de forges et correspondants, touchant les intérêts et le but que ledit comité se propose;

4° Le comité sera renouvelé chaque deux ans; chaque membre pourra être réélu;

5° Il sera tenu de se réunir chaque trois mois au lieu qui sera indiqué à MM. les membres du comité par M. le président, et, au besoin, à des époques plus rapprochées;

6° Le comité pourra délibérer sur toutes les questions à la simple majorité; il pourra provoquer des réunions de tous les maîtres de forges chaque fois qu'il le jugera à propos; une de ces convocations aura lieu, de droit, une fois tous les ans, à Tarascon, dans le mois d'avril, au jour indiqué par M. le président;

7° Le président et le secrétaire auront recours à la voie de l'impression pour la publication des améliorations métallurgiques et des travaux commerciaux du comité;

8° Pour subvenir aux frais d'impression, de correspondance et autres imprévus, chaque maître de forges, signataire du présent accord, s'engage à mettre à la disposition du comité une somme qui ne pourra dépasser vingt-cinq francs par an et par feu de forge, sans l'approbation de la majorité des maîtres de forges, réunis en assemblée générale, qui doit avoir lieu annuellement à Tarascon;

9° Les deux tiers des signataires du présent accord, réunis ou représentés, suffiront pour délibérer; ces délibérations seront obligatoires pour chacun des signataires.

La moitié plus un des membres présents formeront la majorité;

10° M. François, ingénieur des mines, voulant bien s'associer aux travaux du comité pour la partie métallurgique, est nommé secrétaire de droit pour cette partie seulement.

Ce projet fut adopté, à l'unanimité, par tous les membres du comité soussignés.

Signèrent : MM. Victor VERGNIES, ESPY, TERSAC, m^{quis} D'ORGEIX, J. FRANÇOIS, TRINQUÉ, AVIGNON aîné, SAINT-ANDRÉ, DENJEAN, Casimir VERGNIES, DEGUILHEM, VERGNIES-BOUICHÈRES, ROUSSE aîné, B. GOMMA, SABARDU aîné, Vincent VASQUEZ (Gallicie espagnole), ASTRIÉ de Gudannes, Eugène ABAT, ICHÉ, J. ROUSSE, ABAT-MORLIÈRE-DUPEYROU, MICHEL, LASVIGNES, A. GARRIGOU, CANEL, F^{n}. DE SENTENAC, BERTHOUMIEU, ASTRIÉ frères, JAUZE, FERRADOUX, DAX, A. D'ALLENS, DOUMERQ, MARUEJOULX, Alex. RUFFIÉ, BIALLÉ, LAFONT-SENTENAC.

PRÉCIS

Historique sur le traitement direct du fer dans l'Ariége, suivi de quelques détails statistiques sur l'industrie du fer dans ce département (1);

Par M. FRANÇOIS, Ingénieur des mines.

En remontant les vallées de l'Ariége, surtout celles de Vicdessos, d'Aston, de l'Hospitalet, après avoir laissé derrière soi les dernières forges en roulement, on rencontre des restes assez récents d'anciennes forges à eau; plus loin les traces sont plus rares, enfin sur les versants des mon-

(1) La présente notice est extraite de la première publication du comité central des maîtres de forges de l'Ariége. Aux termes des articles 7 et 8 des statuts de la société, le comité central est chargé de faire connaître aux propriétaires d'usines et aux forgeurs toute amélioration reconnue applicable dans les procédés pratiques de la fabrication du fer. Le comité traitera dans ses premières publications les sujets suivants :

1° Précis historique sur la fabrication du fer dans l'Ariége, suivi de quelques détails statistiques sur l'industrie du fer dans ce département;

2° Construction des feux de forges;

3° Construction des trompes, des machines à piston;

4° Construction des marteaux et martinets;

5° Traitement du minerai pour fer doux;

6° Traitement du minerai pour fer fort (acier naturel), grillage du minerai à la flamme perdue;

7° Carbonisation, procédés nouveaux;

8° Examen et traitement des différents minerais de fer de l'Ariége.

En commençant par un précis historique suivi de quel-

tagnes, même vers la haute chaîne, loin de tout gisement de fer, sur des rochers stériles on remarque de fréquents amas de scories riches. Ces faits s'observent sur les deux versants des Pyrénées.

On les explique, du moins d'une manière spécieuse, si on remarque que, pendant et longtemps après l'occupation des Maures, l'industrie en Espagne subit plus de développement que dans la partie méridionale de la France (1). On sait qu'alors l'Espagne envoyait des forgeurs dans nos montagnes, d'où elle-même tirait la presque totalité des produits. Cette priorité de l'Espagne dans la fabrication du fer continua jusqu'à la fin du seizième siècle, époque à laquelle les forgeurs cessèrent de nous venir de la *Navarre* et de la *Biscaye*.

D'un autre côté la tradition, aidée de la chronique écrite, apprend,

1° Que sur toute la haute montagne il y eut de petites forges à bras : le feu était alimenté par des soufflets en peaux. Dans le principe, ces soufflets étaient de simples peaux (outres); plus tard ils furent en éventail; toujours au nombre de deux.

2° Dans une première période, la réduction du

---

ques détails statistiques sur la fabrication du fer dans l'Ariége, le comité a voulu convaincre les sceptiques, s'il en est encore, de la nécessité d'améliorer les pratiques des forges, et de la possibilité où l'on est de le faire, aidé de la science, quand les anciens forgeurs ont pu et su tant faire avec les seules ressources d'une étroite routine.

(1) Une grande partie des Pyrénées françaises fut occupée par les Maures. Ces derniers exploitèrent les mines de plomb argentifère et de cuivre aurifère d'Aulus.

minerai se fit dans de petits feux circulaires qui donnaient 10 à 12 livres (4 à 5 kilogrammes) de fer par opération.

3° Plus tard, les besoins de la consommation augmentant, les creusets grandirent, on y fabriqua jusqu'à 35 à 40 livres (14 à 16 kilogrammes) de fer..... Ici la tradition se trouve confirmée par un fait récemment arrivé aux environs de la forge de *Bielsa* (Haut-Aragon). Des charbonniers, préparant une place de fourneau, mirent à découvert un creuset circulaire (*Pl. VII, fig.* 1). Il avait 24 pouces de hauteur; il était cylindrique, sur une hauteur de 11 pouces; plus haut il avait la forme d'un cône renversé. Il y avait 11 pouces du fond aux siéges de tuyère; on y employait le bois en nature, ce qui explique sa forme évasée par le haut.

4° Peu à peu les besoins de la consommation forcèrent à adopter de plus grandes dimensions; mais alors la fusion, bien qu'avec deux tuyères, souffrait de la forme circulaire. La fonte vis-à-vis le vent languissait, là surtout où se trouvait la plus grande épaisseur de minerai. Aussi les feux s'aplatirent aux faces de tuyère et du contrevent (*fig.* 2) et devinrent elliptiques. A mesure que les feux avaient grandi, on avait dû forcer le vent de plus en plus. La disposition de deux tuyères distinctes, servies chacune par un soufflet, était peu favorable; aussi dut-on réunir les deux tuyères en une seule, servie par deux soufflets à jeu alternatif. Cette tuyère était très-évasée (*fig.* 2), surtout avec les feux à forme ovale, car la longueur du feu exigeait un vent croisé. Ces creusets avaient la forme d'un cône renversé; ils étaient

construits en maçonnerie revêtue de bandes de fer; la maçonnerie était établie dans une cuve en cuivre qui la garantissait de toute humidité. En 1716 ces creusets étaient employés, près de la frontière française, sur la Bidassoa, pour le traitement du minerai de *Biriatou*. En Espagne ils ont persisté très-longtemps; on en cite encore dans le Guipuscoa.

Insensiblement, pour produire davantage dans le même temps, la charge en minerai augmenta, et dut être forcée avant même qu'on se décidât à augmenter les dimensions des feux. Aussi, comme la fusion s'opérait surtout à la rencontre de la cave et du contrevent, les faces de tuyère et du contrevent s'aplatirent graduellement. Dans l'Ariége, en 1616, les creusets étaient sensiblement rectangulaires; chacune des faces était concave, mais parfaitement distincte, du moins dans la partie supérieure du feu; car la région inférieure, située sous le vent, conservait la forme ovale (*fig.* 3). Cette dernière région resta, même pendant très-longtemps, circulaire. En effet, c'est dans cette région que s'opère l'affinage et le soudage des parties métalliques, c'est là que s'asseoit le massé (loupe), et sous tous les rapports, pour la plus complète élaboration, la forme circulaire, ou du moins ovale, est la plus convenable. Quant à la partie au-dessus du vent ou région de préparation, le minerai s'y prépare. Comme les élaborations successives ne doivent pas être précipitées, il convenait d'éviter l'entassement du minerai sous le vent, et de le diviser en évasant la région de préparation; aussi voyons-nous une tendance progressive et marquée à élargir la région au-dessus du vent, sans

trop déformer et agrandir la région de fusion.

Plus tard (1650), les faces de tuyère, de chio et le contrevent furent sensiblement planes, seulement la cave conservait une courbure que lui donnent encore aujourd'hui les bons forgeurs; mais le fond du feu, région de fusion, était conservé ovale et en forme de nid. Alors les creusets avaient 16 pouces (1) de largeur, 18 de profondeur et 19 de hauteur. On y faisait 6 massés en 24 heures; chaque opération donnait 100 à 150 livres (40 à 60 kilogrammes) de fer forgé. En examinant les dimensions ci-dessus, on peut remarquer que la hauteur (19 pouces) est peu considérable relativement aux autres dimensions. Cela tient aux causes suivantes. En premier lieu, dans tous les anciens creusets on voit toujours les faces de chio et de contrevent également élevées. On n'avait pas encore songé à contenir le plus de minerai dans le feu, en élevant les pièces du contrevent au-dessus de la prie. On avait évasé la région supérieure du feu, puis forcé les dimensions en longueur et largeur, ce qui avait entraîné augmentation dans la longueur et la largeur de la région de fusion. Mais les anciens ne se décidèrent que très-lentement à toucher à la tuyère et à sa position par rapport au fond du feu. Pendant bien longtemps on voit la tuyère à 8 pouces du fond conserver une inclinaison de 35 degrés. Il est remarquable que les derniers changements portèrent toujours sur le saut et surtout sur l'inclinaison de la tuyère. Peut-être cela tient-il à ce qu'obtenant avec cette incli-

(1) Nous adoptons le pouce du pays qui est de 28 millimètres.

naison de bon fer doux, ils craignaient d'altérer les qualités en la faisant varier. Mais la nécessité de produire davantage força, dès 1667, à approfondir le feu et à fondre sous une inclinaison de 40 degrés. Déjà à cette époque on ne faisait en 24 heures que 5 massés donnant chacun de 200 à 220 livres (80 à 85 kilogrammes) de fer forgé.

Peu à peu le contrevent se déversa et s'éleva au-dessus de la prie, afin d'augmenter le chargement en minerai, et partant, de produire davantage dans le même temps. Aussi le temps de chaque opération s'éleva, et déjà en 1744 on ne faisait, en 24 heures, que 4 massés donnant chacun 290 livres ou 120 kilogrammes de fer.

Depuis cette époque jusqu'à ce jour, on a sans cesse augmenté les dimensions des feux; la limite supérieure paraît, sinon atteinte, du moins bien voisine des dimensions actuelles. Au fond le feu a 21 à 22 pouces de largeur sur 23 à 25 pouces de profondeur; à la hauteur de tuyère il a 25 sur 28; à la hauteur de la prie 27 sur 28. La hauteur du feu à la prie est de 23 à 26 pouces; celle du contrevent est de 29 à 32 pouces.

Du fond du feu à la hauteur des forges ou de la tuyère, c'est-à-dire dans la *région de fusion*, il n'y aura pas lieu à de grandes variations dans les dimensions; mais pour la partie supérieure, située au-dessus de la tuyère ou *région de préparation*, on sera conduit à l'augmenter. En déclinant et déversant le contrevent, en augmentant son développement, on se mettra dans les conditions de plus complète préparation du minerai, et, partant, dans les meilleures conditions d'économie de temps et de combustible.

Telle est la série des formes qu'affectèrent successivement les creusets employés au traitement direct du fer dans l'Ariége. On y remarque le passage graduel de la forme circulaire à celle quadrangulaire. C'est par ce passage que le traitement biscayen s'est fondu peu à peu dans la méthode catalane. Cette dernière ne se dessina franchement que vers le commencement du dix-septième siècle, quand les quatre faces du creuset, bien que concaves, furent parfaitement distinctes. On voit la méthode catalane se formuler peu à peu à mesure que les besoins de la consommation augmentent. On cherchait à traiter dans le même temps une plus grande quantité de minerai ; mais dès lors apparut la nécessité d'agir avec un vent régulier et soutenu ; et bientôt, aux deux soufflets biscayens à jeu alternatif, succéda la trompe des Pyrénées. Ce dernier fait marque aussi la transition d'un procédé à l'autre.

On sait que, dans le procédé biscayen, le forgeage, comme la soufflerie, n'avait d'autre moteur que le poids des hommes agissant sur des roues. Il se faisait sous un marteau frontal en fer forgé. Ce marteau n'agissait que par son poids; aussi était-on forcé de lui en donner un très-considérable. On en rencontre qui pèsent jusqu'à 2.800 livres (1.200 kilog.) dans les forges de Saint-Paul, de Villeneuve, d'Orlu, et à Canejan (Espagne). Le travail sous de tels mails était lent et pénible; aussi, les creusets augmentant, on fut forcé d'employer l'eau comme moteur. Dans le principe le massé était travaillé sous le vent de soufflets biscayens, puis jeté suivant la pente de la montagne, et amené en un point où se trouvaient établis un four de réchauffe et un

marteau mis en mouvement par une roue hydraulique. Un tel travail ne dut pas persister longtemps ; le feu de forge suivit le marteau, et les soufflets furent mis en jeu par un moteur hydraulique. Cette dernière disposition prit le nom de *mouli de fer*. Une des premières qui furent établies dans l'Ariége, fut le mouli de Caponta (commune d'Auzat); elle fut construite vers 1500: en 1550 elle appartenait à Jeanne d'Albret; elle était desservie par des forgeurs biscayens.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, ce fut dans le dix-septième siècle (de 1616 à 1667) que le creuset, devenant rectangulaire et assez grand pour y travailler à la fois 200 livres de fer, on eut recours au vent soutenu de la trompe. Dès cette époque le procédé biscayen, constamment suivi dans le comté de Foix, s'efface et fait place à la méthode connue sous le nom de petite catalane. Elle est encore suivie dans les Vallespir (Pyrénées-Orientales). Elle donne un fer mal soudé, peu homogène : nul doute que dans ces localités elle ne fasse bientôt place au traitement actuel.

A mesure que les creusets ont grandi, on a obtenu économie progressive de temps et de combustible : en même temps les produits s'amélioraient; le fer était plus doux, plus homogène et mieux soudé.

Le tableau suivant servira de complément aux détails qui précèdent.

DÉSIGNATION des époques.	EMPLOI POUR 100 DE FER		DURÉE des feux.	NOMBRE DE FEUX DE		OBSERVATIONS et PRODUCTION annuelle en quintaux métriques.
	Minerai.	Charbon.		Forges.	Martinets.	
1667.	305	593	4 heur.	44	8	Travail à la petite catalane.
1744.	300	442	4 h. 48′	33	8	Les creusets grandissant peu à peu, le temps des opérations augmente ; on marche graduellement au traitement catalan actuel.
1780.	300	412	6	31	9	Travail à la catalane actuelle Produit annuel. 26,816 q.m.
1807.	322	336	6	41	9	39,540 à 60f. 00
1818.	316	323	6	43	10	46,000 à 46 00
1835.	326	303	6	50	15	55,662 à 45 06
1836.	338	310	6	52	15	53,119 à 45 07
1837.	338	310	6	58	16	

En résumant ce qui précède, on voit :

1° Les procédés de fabrication s'étendre et s'améliorer graduellement. Dans les premiers temps (jusqu'au milieu du 18e siècle) on y est conduit par l'obligation de produire davantage en présence d'une consommation toujours croissante; plus tard on sent la nécessité à la fois d'augmenter la production et d'économiser le combustible. Ce fut cette dernière et impérieuse con-

dition qui amena peu à peu (de 1650 à 1780) aux creusets actuels. Ainsi les forges à bras font insensiblement place aux creusets elliptiques, aux soufflets à éventail et au marteau frontal des Biscayens (15e siècle). Les besoins de la consommation forcent à agrandir les feux, à augmenter le poids des marteaux; les forges descendent au fond des vallées, l'eau, comme moteur, est substituée au poids des hommes (1500 à 1600). — Les creusets prennent peu à peu la forme quadrangulaire; la nécessité d'avoir un vent plus soutenu amène la trompe (1600 à 1660). — Le procédé biscayen s'efface et est remplacé par la petite catalane. — Les feux quadrangulaires s'agrandissent, ils tendent aux dimensions actuelles (1660 à 1780, à 1836), et amènent les procédés aujourd'hui en pratique.

2° Le tableau ci-dessus montre la consommation en minerai augmentant à mesure que les creusets grandissent. Cette circonstance n'est pas seulement liée aux dimensions des feux, elle tient aussi à la richesse, toujours décroissante du minerai, et à l'abandon du grillage préalable (1794). — D'un autre côté, le chiffre de consommation du combustible diminue graduellement, surtout au moment où on abandonne le grillage, opération qui exigeait 17 de charbon pour 100 de fer.... La rareté du charbon le fit rejeter; on doit d'ailleurs observer qu'alors (1792) la mine de Rancié fournissait une grande quantité de mine spathique noire, très-fusible, qui n'avait pas besoin du grillage. Depuis, bien que cette mine manquât, on n'a pu le reprendre faute de charbon.

Nous nous sommes étendus à dessein sur les modifications successives qu'a dû subir le traitement direct du fer dans nos montagnes, afin de faire sentir à tous quel pas la routine, abandonnée à ses propres forces, mais poussée par la nécessité, a fait faire à l'art. Nous avons aussi voulu montrer l'ensemble de la marche suivie par les anciens; car, avant peu, nous aurons à leur reprendre, ne serait-ce que le soin avec lequel ils tenaient le vent et la région de fusion, aujourd'hui si négligés.

Détails statistiques.

Pendant longtemps le fer de l'Ariége approvisionnait tous les marchés de la Haute-Garonne, des Hautes-Pyrénées, de Tarn-et-Garonne et même de l'Aveyron. Les fers forts y étaient recherchés. Les forges, comme les autres usines, étaient concentrées dans quelques maisons seigneuriales, seules propriétaires des forêts qui couvraient les montagnes. Une telle répartition de la propriété des forges, un état de sécurité industrielle le plus complet assuré par les droits protecteurs les plus exclusifs, n'amenèrent pas de grands mouvements dans la consistance des usines. De temps à autre quelque changement dans leur position était provoqué par l'état des forêts. Rarement alors le fabricant allait au-devant des consommateurs, il les attendait paisiblement; car le mot concurrence ne s'était montré que dans le dictionnaire de l'Académie. La vallée de Vicdessos donnait son minerai en échange de charbon; cet échange se faisait surtout avec le Couserans, l'é-

vêché de Mirepoix, le Lordadet et les forges de Gudanes; il reposait sur des chartes écrites octroyées par les comtes de Foix.

Mais (en 1792) du moment où les biens des maisons seigneuriales, abandonnés ou confisqués, passèrent entre les mains d'un grand nombre, l'échange du minerai et du charbon en nature ne fut plus praticable, il devint un véritable commerce souvent exercé par des tiers. Les forges, entraînées dans la révolution que subit alors la propriété, passèrent en d'autres mains. Du mouvement général qui fut alors imprimé, on eût dû attendre quelque développement dans la production. Mais loin de là; le tourbillon révolutionnaire jeta tous les travailleurs sur le champ de bataille; l'empire avec le brillant prestige de la gloire militaire les y enchaîna. Aussi pendant plus de vingt ans l'industrie des fers, loin de se développer, eût langui s'il n'eût fallu fabriquer des armes. Puis les esprits sentirent la nécessité de s'occuper des intérêts matériels; dès lors les arts industriels prirent un développement rapide; la fabrication des fers dut suivre, et bientôt, en matière d'usine à fer, le principe de liberté commerciale reçut des applications peut-être trop générales. L'Ariége suivit de loin un mouvement auquel elle ne pouvait rester étrangère; autour d'elle (les Landes, le Périgord, Bruniquet, Decazeville) s'élevaient déjà des usines rivales; mais elle n'en pouvait pas encore bien sentir le voisinage; car les arts industriels, en se développant, créaient chaque jour de nouveaux besoins qui soutenaient la fabrication; aussi ne songea-t-on qu'à produire, sans prévoir qu'il fallait aussi se ménager une force de rési-

stance industrielle en améliorant les procédés..... Cependant les forêts s'épuisèrent; on dut aller demander les charbons aux départements de l'Aude, de la Haute-Garonne et même des Hautes-Pyrénées, et par-là grever les frais généraux de fabrication d'un transport énorme (pour quelques usines jusqu'à 27 pour 100 du prix de la matière fabriquée), que la baisse des fers ne permet plus de supporter aujourd'hui. Dans un tel état de choses, c'est en vain que les usines iront au-devant des charbons; c'est en vain que, par le seul instinct de conservation, on jettera les usines dans les contrées boisées pour assurer l'approvisionnement des forges voisines du minerai, tous ces efforts ne sont que temporaires; ils ne sont d'ailleurs que partiels, l'envahissement incessant des produits des établissements rivaux en fera bientôt raison. Quelquefois même on a songé au moyen aussi absurde que ridicule de relever le prix des fers en suspendant la fabrication. Mais, qu'on le sache bien, de 1825 à 1832 on fabriqua annuellement en France 1.466.865 q. m. L'Ariége fournissait alors à la consommation 51.000 q. m., soit $\frac{1}{28}$ de la production totale en France. En 1835 la France produisit 1.728.408 q. m.; l'Ariége donna à la consommation 55.662, soit $\frac{1}{31}$ de la production. Enfin, en 1836, l'Ariége ne donna que 53,119 q. ou $\frac{1}{39}$ de la production française, qui s'éleva à 2.041.194 q. m. En présence de tels chiffres l'Ariége peut-elle penser sérieusement à exercer une action sensible sur les prix des fers par un chômage de quelques mois? Elle achèvera de s'écraser; elle a devant elle un exemple bien funeste. Ce fut une suspension de vente, dans un temps où elle produisait $\frac{1}{18}$ du fer fabriqué en France, qui

établit au sein même de l'Ariége (Ganac), les fers des Landes, de Bretagne et du Berry. Que cette leçon puisse lui être profitable.

Aujourd'hui que l'on souffre, on s'agite, on s'interroge sur les causes de l'état de marasme industriel, c'est notre devoir de les faire connaître; nous désirons que le plus grand nombre soit de notre avis. Nous souffrons tous, parce que nous n'avons pas cherché à améliorer les procédés, et surtout, parce que nous ne nous sommes pas mis en état de faire et de conduire nous-mêmes quelque tentative. Nous sommes écrasés par les frais de transport et de fabrication. Quelques efforts ont été tentés, soit pour améliorer la qualité des matières premières, soit pour en diminuer les frais d'arrivage à nos forges (proposition du chemin de Rancié), nous ne les avons que trop mollement secondés... Dans nos vallées nous entassons forge sur forge sans chercher à nous instruire dans la manière d'en diriger le roulement; sans nous inquiéter de la possibilité des forêts et de l'avenir des mines; comme aussi, sans jeter un seul regard sur l'état envahissant des usines rivales et sur les chances que nous pouvons avoir dans la lutte déjà engagée. Et ces usines que nous construisons, parce que nous ne savons faire autrement, nous nous entêtons à les mouler sur les anciennes forges qui tombent et meurent à quelques pas de nous. Nous devrions néanmoins songer que ces vieux types de simplicité aujourd'hui sentent le morcellement; que leur roulement, si simple en apparence, est grevé de frais énormes; qu'enfin leur consistance est incomplète, qu'elle ne suffit plus pour fabriquer des qualités et des formes qui nous permettent d'étendre nos relations com-

merciales. Le temps, nous voulons dire la force des choses, nous tuera bientôt, si nous ne nous empressons de réunir nos efforts pour améliorer, sous tous les rapports, la fabrication, et pour favoriser l'établissement d'usines qui, en donnant à nos fers des formes meilleures, nous permettent de les présenter sur les marchés où les appelle leur qualité supérieure.

Nous terminerons cet exposé par un tableau statistique sur le mouvement de la fabrication du fer dans l'Ariége, de 1818 à 1837.

DÉSIGNATION des dates.	MINERAI EMPLOYÉ dans l'Ariége.	PRODUIT ANNUEL en fer forgé.	PRIX DU FER EN FORGE (100 kilog.).		VALEUR TOTALE.	OBSERVATIONS.
	Quintaux métriq.	Quintaux métriq.	fr.	c.	francs.	
1818.	152,498	46,000	48	00	2,208,000	NOTA. Les chiffres de 1818 à 1832 sont empruntés à M. d'Aubuisson (mémoire sur Rancié, Annuaire de l'Ariége).
1819.	166,484	54,000	56	00	3,024,000	
1820.	133,745	43,000	46	00	1,978,000	Les fers de la Loire viennent sur le marché de Toulouse à 44 francs les 100 kilog.
1821.	158,051	50,500	43	00	2,171,000	
1822.	159,803	51,000	46	50	2,371,000	
1823.	166,252	54,000	49	00	2,646,000	Les fers de l'Ariége se relèvent lentement, ils n'atteignent pas le chiffre de 50 fr., et persistent à 49 fr. par la mise en activité de Bruniquet.
1824.	163,000	51,000	49	00	2,548,000	
1825.	156,000	50,000	49	00	2,450,000	
1826.	154,319	49,000	49	00	2,401,000	
1827.	171,289	55,000	51	00	2,805,000	Le feuillard est recherché. Il y a des commandes pour la Loire.
1828.	217,459	69,000	47	00	3,243,000	
1829.	149,596	48,000	46	00	2,208,000	Decazeville est mis en mouvement.
1830.	146,652	47,000	45	00	2,115,000	
1831.	161,661	51,000	40	50	2,065,000	Marasme général dans l'industrie par suite de la commotion de 1830.
1832.	156,123	50,000	39	50	1,975,000	
1833.	160,000	50,175	41	00	2,057,175	
1834.	158,161	48,771	44	35	2,147,774	
1835.	161,387	55,662	45	06	2,508,129	Les fers sont recherchés, mais ils ne s'élèvent plus au-dessus du prix où les a fait tomber Decazeville.
1836.	179,294	53,119	45	07	2,394,251	
Moyenne...	161,015	51,585	49	22	2,535,279	

En examinant attentivement le mouvement des prix du fer dans le tableau ci-dessus, on remarquera que rarement ce prix se relève quand il a été forcément abaissé par la mise en activité d'un établissement voisin. Ainsi donc la concurrence nous a été fatale toute fois qu'elle s'est formulée près de nous. Un tel résultat atteste notre faiblesse en fabrication. C'est d'ailleurs ce qui apparaît d'une manière évidente dans la crise que nous subissons; car il ne faut pas nous le dissimuler, une des principales causes de notre situation actuelle, c'est notre infériorité dans les moyens de fabrication économique, et partant l'impossibilité de supporter facilement la baisse qui a frappé les fers de toutes les usines.

NOTICE

Sur un gisement de minerai de fer situé près Nanteuil (Deux-Sèvres);

Par M. DE MONTMARIN, Ingénieur des mines

Le but de cette notice est d'indiquer le gisement d'un minerai de fer sur lequel des recherches ont eu lieu en 1836, conformément au vœu du conseil général des Deux-Sèvres. Diverses explorations ont permis de compléter les données fournies par les fouilles exécutées. Objet de cette notice.

En quittant la route de Saint-Maixent à Poitiers, au nord de Nanteuil, et suivant un chemin qui se dirige vers les villages de Couché et Font-peron, on marche d'abord sur une formation de silex et argiles qui occupe le plateau. Près de la métairie de Lairaudière on commence à observer des blocs d'un grès dur, silicéo ferrugineux, d'aspect métalloïde : des fragments de cette roche sont parsemés dans plusieurs champs. Au delà de Lairaudière, en descendant vers le lit d'un affluent de la Sèvre (dit ruisseau du Puits-d'Enfer), on voit bientôt un grès feldspathique à noyaux quartzeux, il repose en couches horizontales sur le gneiss qui occupe le fond du vallon et s'élève à une assez grande hauteur. Affleurements du minerai.

Telles sont les circonstances principales de l'affleurement : plusieurs tranchées à ciel ouvert ont montré que les blocs ferrugineux, sans être maintenant reliés entre eux d'une manière continue, devaient appartenir à une couche de Recherches exécutées.

2 mètres au moins de puissance, située au-dessus du grès feldspathique dont il vient d'être question, et que la formation de silex et argiles recouvrait les bancs de minerai et remplissait les intervalles qui existaient entre les blocs.

Les travaux exécutés n'ont pas permis d'évaluer l'étendue du gisement : d'après des indices existants à la superficie du sol, on peut toutefois lui assigner au moins 84 ares.

Le minerai consiste en un oxide compacte métalloïde. Le fer oxidé est quelquefois hydraté, mais l'oxide rouge domine : un échantillon de cette dernière variété, essayé par M. Berthier, a donné 0,78 de peroxide de fer.

On trouve fréquemment des géodes de quartz hyalin dans les bancs de minerai : on a observé plusieurs empreintes de pecten.

Nous allons maintenant rendre compte de quelques explorations faites aux environs de la localité qui présente le gisement.

Terrain primitif. En remontant le ruisseau vers le nord, on voit jusqu'à Couché un gneiss à feuillets très-inclinés : le feldspath est rosâtre, le quartz d'un gris sale. Le gneiss contient en général de grandes lames de mica d'un vert foncé. En descendant le ruisseau, à partir duquel existe l'affleurement, on quitte bientôt le gneiss : il est remplacé par une amphibolite : cette roche paraît dans le vallon ainsi que dans deux gorges latérales qui descendent du nord, jusqu'à l'entrée du ruisseau dans la plaine, au-dessous d'Exireuil.

Arkose. Le grès qui près de Lairaudière recouvre en couches horizontales le terrain primitif, présente tous les caractères minéralogiques et géologiques de l'arkose. On peut l'observer constamment au-

dessus du gneiss, sur les flancs du vallon qu'on a remonté vers Couché : on le voit encore quelque temps au-dessus de l'amphibolite, mais bientôt il s'amincit, puis offre d'autres caractères, comme nous le dirons plus loin.

Ce grès renferme fréquemment de la baryte sulfatée lamellaire de couleur blanche ou rosée : il est surtout très-développé au nord de Lairaudière; là il a fourni des carrières de pavés destinés à Niort et Saint-Maixent.

Passages de l'arkose au quartz jaspe.

Près du point où le gneiss est remplacé par l'amphibolite, on voit en s'éloignant du ruisseau vers le sud, au-dessus de cette roche décomposée, l'arkose passer insensiblement à un grès siliceux très-fin, puis au quartz jaspe : or on peut, en revenant de ce point vers Lairaudière, suivre ces bancs quartzeux et observer leur liaison avec les bancs de minerai; on doit rapporter la formation ferrugineuse à l'arkose.

Passages de l'arkose au macigno.

Nous avons dit qu'en continuant de descendre le vallon, on voyait l'arkose s'amincir et changer de caractères. Quand on approche du point où les gorges débouchent dans la plaine, on trouve, en effet ce grès remplacé par des sables quartzeux et feldspathiques, souvent agglutinés par un ciment calcaire, et formant alors un macigno; au-dessus du macigno paraissent les calcaires de la partie supérieure du lias, et les couches inférieures du calcaire oolitique. La coupe n° 1 (*Pl. VII, fig.* 4) observée en montant à partir du ruisseau vers la Guesrandière, fera connaître ces terrains : le macigno, le grès calcaire, et surtout les marnes et rognons de calcaire bleu renferment beaucoup de bélemnites : ces dernières assises contiennent en outre des ammonites, des plagiostomes et des

Calcaires du lias et calcaires oolitiques.

gryphées (*gryphea cymbium*). Le grès calcaire présente de la baryte sulfatée lamellaire.

Dans le calcaire oolitique, outre des ammonites (*Amm. triplicatus*), on trouve une grande quantité de térébratules.

La plaine qui s'étend au nord-est de Saint-Maixent, et vient mourir au pied des coteaux d'Exireuil et de la route de Poitiers, consiste en calcaires qui offrent tous les caractères du calcaire oolitique dont il vient d'être question : cette grande différence de niveaux entre des formations analogues entre elles, paraît se rattacher à l'existence d'un accident qu'on peut observer d'Exireuil à Nanteuil, surtout près de la route de Poitiers : en suivant cette grande route, à partir de Saint-Maixent, on voit d'abord, en quittant la plaine de calcaire oolitique, des marnes bleues très-argileuses, contenant les fossiles du lias, puis en continuant de monter la côte on trouve les calcaires sublamellaires et arénacés du lias, en couches presque verticales, plongeant vers le sud; l'amphibolite paraît ensuite, et au-dessus de cette roche on observe des assises analogues à celles que présente la coupe citée précédemment; elles sont légèrement inclinées vers le nord. La coupe n° 2 (*fig.* 5) montre la disposition du terrain à partir de la plaine. En suivant le flanc des coteaux d'Exireuil à Nanteuil, on voit constamment ces calcaires très-inclinés vers le sud.

Accident qui affecte les formations jurassiques.

Il y a tout lieu de croire que les couches qui paraissent de chaque côté du point où la roche primitive se montre au jour, devaient former continuité, et ont été dérangées par un accident lié à des causes souterraines : on ne peut l'attribuer à l'apparition des terrains primitifs, qui,

d'après tout ce que nous avons dit, devaient exister antérieurement aux dépôts jurassiques : mais, après la formation de ces terrains calcaires, les roches primitives peuvent avoir subi des échauffements et abaissements qui ont produit les phénomènes en question.

Les silex accompagnés d'argiles remplissent des cavités et fentes dans le calcaire oolitique ou le lias, recouvrent ces terrains sur une assez grande épaisseur, et s'observent constamment sur les plateaux. L'argile est ordinairement ferrugineuse, et contient souvent des minerais en grains. Les silex sont compactes, quelquefois caverneux sans être carriés, de couleur laiteuse ou gris foncé : ils forment souvent des blocs énormes. Nous n'avons pas trouvé de fossiles dans ces silex et argiles qui nous paraissent appartenir au deuxième étage des terrains tertiaires. Argiles et silex en rognons.

Nous terminerons cet examen des terrains reconnus aux environs du gisement de minerai, en mentionnant plusieurs dépôts de silex meulières et calcaire d'eau douce. Ils constituent des collines isolées qui s'élèvent au sud de Nanteuil, dans la vallée de la Sèvre. Le calcaire occupe la base de ces collines, il contient des couches marneuses verdâtres : on y trouve quelques limnées et planorbes; au-dessus paraissent les silex carriés, présentant tous les caractères de la pierre meulière des environs de Paris. Silex meulières et calcaire d'eau douce.

De l'ensemble des faits, rapportés dans cette notice, nous tirons les conclusions suivantes : Aux environs d'Exireuil et Nanteuil, les premières assises qui recouvrent le terrain primitif appartiennent à la partie supérieure du lias : la partie inférieure, ou le calcaire à gryphées arquées, Conclusions.

n'existe point. A la partie inférieure de cette formation de lias, on observe un macigno, des calcaires arénacés et sublamellaires, et à la partie supérieure un calcaire bleu marneux pétri de bélemnites. Le macigno présente des passages à un terrain d'arkose : cette dernière roche est elle-même liée dans ses assises supérieures à un grès siliceux ou quartz jaspe auquel appartient le gîte de minerai de fer. Des calcaires de l'étage inférieur des formations oolitiques paraissent généralement au-dessus du lias : ces deux terrains sont recouverts sur les plateaux par des silex accompagnés de glaises ferrugineuses.

Ces caractères de la formation jurassique s'accordent avec ceux qui sont indiqués par M. Fournel, dans l'étude des gîtes houillers et métallifères du Bocage vendéen : nous remarquerons seulement qu'ici, la liaison du terrain d'arkose et de la partie inférieure du lias, nous paraît évidente, tandis qu'aux environs de Fontenay-le-Comte, les grès feldspathiques, observés par M. Fournel, laissent des doutes sur l'âge auquel ils appartiennent.

L'existence et la position du gîte ferrifère de Nanteuil sont aussi d'accord avec les études et prévisions de MM. de Bonnard, de Cressac et Manès, relatives à la formation métallifère qu'on rencontre à la limite des terrains primitifs et secondaires dans le sud-ouest de la France.

EXPÉRIENCES

Sur le produit des pompes,

Pa. M. CASTEL;

Communiquées par M. D'AUBUISSON,
Ingénieur directeur des mines.

Si une pompe était parfaite, que la garniture du piston contînt entièrement l'eau, que les soupapes fermassent hermétiquement, et qu'elles fermassent instantanément dès que le piston aurait atteint le haut de sa course, on obtiendrait, à chaque relevée, un volume d'eau égal au solide engendré par la base du piston dans son ascension. Mais, il n'en est jamais ainsi, l'on compte qu'il y a toujours une perte, ou un déchet dans le volume d'eau élevé, et on l'estime de un à deux dixièmes pour les pompes ordinaires; l'on admet encore qu'il y est d'autant plus grand que le piston monte plus lentement (1).

Cependant une bonne construction et un entretien soigné peuvent réduire considérablement ce déchet : par exemple, dans les pompes de la plus grande et de la plus belle des machines hydrauliques que nous ayons en France, celle qui sert à l'épuisement des eaux qui se rassemblent au fond des mines de Huelgoat, en Bretagne, M. Juncker, auteur de cette machine, ayant comparé le produit réel avec le produit théorique, n'a trouvé le premier que de $\frac{1}{30}$ plus faible (2).

(1) *Traité d'hydraulique à l'usage des ingénieurs*, pag. 437.

(2) *Annales des mines*, 1835, tom. VIII, pag. 268.

Il était important de constater celui des pompes du château-d'eau de Toulouse, afin de connaître et leur état, et la quantité d'eau qu'elles fournissaient ou pouvaient fournir effectivement aux fontaines qu'elles sont destinées à alimenter. En conséquence, j'ai prié M. Castel, ingénieur des eaux de la ville, de faire quelques expériences à ce sujet : la grande caisse de jauge, contenant plus de 3.200 litres, qui avait servi à son travail sur les déversoirs, lui donnait le moyen d'en mesurer très-exactement le produit. Déjà, l'année dernière, il eut la complaisance de faire quelques observations; cette année, le 12 septembre, il les a répétées, étendues et exécutées avec tout le soin et toute la précision qu'il met dans tout ce qu'il fait.

J'ai donné ailleurs (1) la description de ces pompes; je me bornerai ici à rappeler que ce sont des pompes aspirantes et foulantes, dont le piston est un long cylindre en bronze (*plunger*), montant et descendant dans une boîte à cuirs et étoupes; il a, terme moyen :

En diamètre.	0,271 mètre.
En longueur de course.	1,144 mètre.
De sorte que le solide, engendré dans la course, est de.	0,0660 m. cub.
La hauteur de l'élévation, au-dessus des soupapes, est de.	22,80 mètres.

Ces pompes, au nombre de huit, sont divisées en deux *équipages* distincts; chacun est mu par une roue hydraulique particulière, et d'après les dimensions ci-dessus, à chaque tour de roue, il devrait élever 664 litres d'eau.

(1) *Histoire de l'établissement des fontaines*, *à Toulouse*, 1830.

Afin de savoir ce qu'il en était réellement, M. Castel a commencé par séparer les eaux de chacun dans la cuvette où toutes sont versées : de manière que celles d'un des équipages continuaient le service des fontaines, tandis que celles de l'autre tombaient, pendant un certain temps, dans la caisse de jauge. Le tableau suivant présente les résultats des expériences; chaque produit réel y est un terme moyen entre deux observations.

DÉSIGNATION de l'équipage.	VITESSE.			PRODUIT par minute		DÉCHET		
	Tours de roue en 1'.	Vitesse du piston.	Rapport	théorique	réel.	absolu.	sur 100.	relatif.
	tours.	mèt.		litres.	litres.	litres.		
Sud	5,08	0,194	100	1341,4	1280,0	61,4	4,58	=1/22
	3,81	0,145	75	1005,8	934,3	71,5	7,11	=1/14
Nord	5,81	0,222	100	1533,8	1510,7	23,1	1,51	=1/66
	3,48	0,133	60	918,7	892,4	26,3	2,86	=1/35

L'examen des faits ci-dessus montre :

1° Que dans l'un des deux équipages le déchet est plus que double de celui de l'autre. Au reste, on savait déjà que, dans le premier, une des soupapes avait éprouvé une petite avarie; il sera aisé de remédier à ce mal.

2° Que dans l'un et l'autre équipage, le déchet a considérablement augmenté lorsque la vitesse a diminué; dans l'un, l'augmentation a été dans le rapport de 10 à 19, pour un décroissement de vitesse de 10 à 6.

Le peu de déchet de nos pompes dépose en

faveur de leur très-bonne construction : nous voyons que, dans les quatre de l'équipage nord, il n'est que de $\frac{1}{66}$, tandis qu'à Huelgoat il était de $\frac{1}{30}$; il est vrai qu'ici on avait une pression dix fois plus considérable sur les garnitures, mais aussi la vitesse y était plus grande.

Le second des résultats est important pour la science. On savait bien que la perte en eau, dans les pompes, était généralement d'autant plus grande qu'on les mouvait plus lentement : mais l'on pensait que c'était une suite de leur mauvaise disposition ou tenue; et voici que ce même fait se reproduit, et d'une manière très-marquée, dans des pompes presque parfaites.

NOUVEAU MOYEN

D'analyser les minerais de manganèse;

Par M. EBELMEN, Aspirant ingénieur des mines.

Ayant à analyser un minerai de manganèse, j'ai employé, pour doser l'oxygène correspondant au chlore dégagé par l'acide muriatique, un procédé d'une exécution facile et qui me paraît susceptible d'une grande exactitude. Il consiste à recevoir le chlore, dégagé par l'action de l'acide muriatique sur le minerai, dans une dissolution d'acide sulfureux bien dépouillé d'acide sulfurique, et à doser au moyen du muriate de baryte, l'acide sulfurique qui se produit dans cette opération. On place un gramme du minerai à essayer, réduit en poudre grossière, au fond d'une petite fiole; on verse par-dessus une quantité convenable d'acide muriatique pur, puis on adapte à la fiole un tube deux fois recourbé, dont la longue branche vient plonger dans une dissolution d'acide sulfureux contenu dans un ballon à fond plat de 8 onces environ, et qu'on remplit environ aux $\frac{2}{3}$. On peut faire dégager le chlore très-rapidement; l'absorption du gaz est toujours complète tant qu'il y a de l'acide sulfureux dans la dissolution, ce dont on s'assure facilement en approchant le visage du col du ballon. A la fin de l'opération, quand la liqueur muriatique commence à perdre sa teinte brune, il faut pousser l'ébullition avec vivacité, pour empêcher qu'il n'y ait absorption et pour chasser complétement le chlore dégagé.

Cela fait, on ajoute du muriate de baryte à la dissolution d'acide sulfureux, et l'on fait bouillir pour chasser tout l'excès d'acide sulfureux. On laisse déposer et on filtre le sulfate de baryte obtenu, qui donne la proportion d'oxygène cherchée. Un atome de sulfate de baryte $\dddot{S}Ba$ = 1458,09 correspond à 100 d'oxygène. Le chlore, en agissant sur l'eau chargée d'acide sulfureux, reproduit l'oxygène que dégagerait le minerai essayé en passant à l'état de protoxide : or, cet oxygène entre évidemment pour 100 parties sur les 1458,09 de sulfate de baryte produit, et j'ai d'ailleurs constaté qu'il ne se formait jamais d'acide hypo-sulfurique dans cette réaction, quel que fût l'excès d'acide sulfureux; car en évaporant la liqueur débarrassée du sulfate de baryte jusqu'à siccité avec de l'acide muriatique, et en reprenant par l'eau, il ne restait pas de traces de sulfate de baryte.

Les avantages de ce procédé me paraissent être les suivants : 1° on peut s'assurer à chaque instant que l'opération marche bien, que la totalité du chlore est absorbée et qu'il ne s'en perd aucune parcelle par le bouchon; 2° l'attaque du minerai est toujours complète dans très-peu de temps; 3° enfin, le mode employé présente un autre avantage sur celui qui consiste à faire digérer le minerai de manganèse avec l'acide sulfureux lui-même; en effet, dans ce dernier cas l'action est quelquefois très-lente, et l'on dose en outre avec l'oxygène du manganèse, l'oxygène qui fait passer l'oxide de fer à l'état de protoxide, ce qui ne donne pas la valeur exacte du minerai par rapport au chlore qu'il peut produire. Enfin, dans ce procédé, on forme une grande quantité d'hypo-

sulfate de manganèse, dont la décomposition est longue et difficile.

Au lieu d'employer de l'acide sulfureux récemment préparé, on peut se servir de dissolutions un peu anciennes, et qui contiendraient par conséquent un peu d'acide sulfurique. Il suffit pour cela de mêler avec la dissolution une certaine quantité de muriate de baryte : il en résulte qu'à mesure que l'acide sulfureux absorbe de l'oxygène par le contact de l'air, il se précipite du sulfate de baryte. Quand on veut s'en servir, on décante la liqueur claire. On fait passer alors le chlore dans une dissolution d'acide sulfureux mêlée de chlorure de barium : chaque bulle de chlore donne lieu à un trouble de sulfate de baryte.

Enfin, dans le cas où il y aurait absorption de l'intérieur du ballon dans la petite fiole, ce qui est, au reste, facile à empêcher, l'opération ne serait pas encore manquée. Il suffirait de réunir la liqueur contenue dans la fiole à celle que renferme le ballon. Mais il faudrait alors déduire du poids du sulfate de baryte obtenu, 1° la gangue mêlée au minerai, et 2° la proportion de sulfate de baryte, correspondant à l'oxygène, qui ferait passer le protoxide de fer à l'état de peroxide. 100 de peroxide de fer donnent 149 de sulfate de baryte; 1 at. de peroxide de fer donne 1 at. de sulfate de baryte.

MOYEN

De reconnaître la présence du sélénium dans le soufre;

Par M. EBELMEN, Aspirant ingénieur des mines.

Voici un procédé qui me paraît très-sensible pour reconnaître la présence du sélénium dans du soufre. Il suffit pour cela de chauffer le soufre en fleur avec un excès de peroxide de manganèse, et de recueillir dans l'eau les gaz qui se dégagent. En agitant la dissolution d'acide sulfureux avec du peroxide de manganèse, son odeur disparaît. Quand il y a du sélénium dans le soufre employé, la liqueur exhale alors une odeur très-forte de radis. Il paraîtrait que le sélénium passe dans cette réaction à l'état d'oxide qui peut co-exister dans la même dissolution avec l'acide sulfureux. Ce fait ne présente rien d'étonnant, puisque l'acide sélénique lui-même n'est pas décomposé par l'acide sulfureux. Avec 10 grammes de soufre dans lequel on ne constaterait pas facilement la présence du sélénium par les moyens ordinaires, on peut communiquer une odeur très-forte de sélénium à un demi-litre d'eau. Cette odeur persiste à l'air pendant un temps assez long.

MÉMOIRE

Sur la formation du spath calcaire et de l'arragonite,

Par M. GUSTAVE ROSE;

Traduit de l'allemand par M. COMTE, élève-ingénieur des mines.

On admet déjà depuis longtemps que le spath calcaire et l'arragonite ont des formes différentes, bien qu'ils aient la même composition chimique, c'est-à-dire que ce sont des corps hétéromorphes ou isomères; ce sera un point établi dans les recherches qui vont suivre. Mais ce qu'on ignore jusqu'à présent, ce sont les conditions nécessaires pour la formation de ces deux substances. D'après des observations faites jusqu'ici, elles peuvent naître également par voie humide et par voie sèche. (*Annales* de Poggendorff, vol. 21, pag. 57. — *Annales* de Poggendorff, vol. 42.) Cependant l'état de spath calcaire des stalactites qui se forment encore aujourd'hui dans des cavernes, et l'état d'arragonite du dépôt des sources de Karlsbade, m'ont fait penser que la formation du spath calcaire et de l'arragonite est peut-être un effet de la différence des températures, auxquelles se forment les cristaux de carbonate de chaux, et m'ont engagé à faire quelques recherches pour éclaircir ce sujet.

(1) Ce mémoire a été lu dans la séance de la classe de physique et de mathématiques de l'Académie des sciences, à Berlin, le 16 octobre 1837.

Cristallisation du carbonate de chaux par voie humide.

Si on abandonne pendant quelques semaines, dans un vase ouvert, à la température ordinaire, une dissolution de carbonate de chaux dans de l'eau chargée d'acide carbonique, celui-ci s'échappe insensiblement, et le carbonate de chaux se fixe en petits cristaux microscopiques, en partie sur les parois du vase, en partie à la surface du liquide (1). Ces derniers sont toujours très-nets; et lorsqu'on ne laisse l'acide carbonique s'échapper que très-lentement en couvrant le vase d'une plaque de verre, ils sont quelquefois assez gros pour qu'on puisse reconnaître leur forme à l'œil nu, et mesurer leurs angles au moyen du goniomètre à réflexion. Ces cristaux sont du spath calcaire et présentent toujours la forme rhomboïdale.

On obtient encore du spath calcaire, quand on expose à l'air, à la température ordinaire, un mélange d'une dissolution de chlorure de calcium, et de carbonate d'ammoniaque ou de tout autre carbonate alcalin. Le précipité qui se forme est d'abord très-volumineux, floconneux, et con-

---

(1) Comme il est difficile d'obtenir une semblable dissolution de carbonate de chaux sans un grand appareil, je m'adressai à M. le conseiller aulique Soltmann, qui, avec son affabilité ordinaire, m'en fit préparer une grande quantité dans sa fabrique d'eaux minérales artificielles. C'est ainsi que j'ai pu faire cette expérience et celles qui vont être rapportées. Je ne veux pas laisser échapper l'occasion de lui en témoigner publiquement ma reconnaissance.

serve cette propriété, si on le filtre aussitôt après sa formation, si on le lave et si on le sèche. Au contraire, si on le laisse reposer pendant quelque temps, le précipité diminue de volume et devient grenu.

Si on observe au microscope le premier précipité, celui qui est floconneux, on voit de petits grains opaques; et lorsqu'on augmente beaucoup le grossissement, ces grains paraissent souvent comme des anneaux parfaitement semblables à ceux que Ehrenberg a décrits dans la craie (1).

Le précipité, devenu grenu, paraît au contraire en petits grains, terminés en pointes, transparents, rhomboédriques; ces grains, comme ceux obtenus par évaporation, sont évidemment du spath calcaire.

J'ai trouvé 2,716 pour la densité du précipité floconneux, 2,720 pour celle de la craie, 2,719 (2) pour celle du précipité grenu. Le poids spécifique du précipité floconneux est, d'après cela, un peu moindre que celui du précipité grenu et de la craie. Mais cela vient simplement de ce que le poids spécifique du précipité floconneux fut pris après qu'il eut été déjà desséché, et alors ce poids devient souvent trop faible (3). En tout cas

(1) *Annales de Poggendorff*, tome 39, page 105.

(2) Beudant élève un peu plus haut la pesanteur spécifique du carbonate de chaux en poudre. Suivant lui, elle est de 2,723 (*Annales de Poggendorff*, tome 14, page 485).

(3) Voici la méthode dont je me suis servi pour prendre ce poids spécifique et celui de tous les autres corps en poussière dont il est question dans ce mémoire. Le précipité fut d'abord mêlé avec de l'eau dans un grand vase de verre, et ensuite versé dans un petit vase cylindrique d'un pouce de

la différence est trop petite pour pouvoir être expliquée par une variation dans la composition chimique que l'on adopte pour le précipité floconneux. On peut donc admettre que la pesanteur spécifique de tous ces corps, et conséquemment leur composition chimique, sont les mêmes. Ils diffèrent seulement, en ce que le carbonate de chaux se trouve dans le précipité floconneux, comme dans la craie, dans un état de cristallisation confuse, ainsi qu'on l'a observé au microscope; et en ce que, dans le précipité grenu, le carbonate de chaux est dans un état de cristallisation bien nette, état qui ne se développe

---

diamètre, garni de bords recourbés, de manière à pouvoir être suspendu à l'aide d'un crin au crochet qui se trouve sous le plateau de la balance. Le vase avec la poudre contenue fut d'abord pesé dans l'eau, et ensuite placé dans un bain-marie. J'évaporai à sec, et je pesai de nouveau. De cette manière on ne perd rien de la poudre, tandis qu'on peut difficilement éviter une perte quand on fait l'opération inverse, c'est-à-dire quand on pèse d'abord la poudre sèche, puis la poudre dans l'eau. Cependant j'ai trouvé le plus souvent que le poids spécifique du précipité qui avait été mêlé d'eau immédiatement après avoir été formé et lavé, est un peu plus fort que celui du précipité qui avait été desséché préalablement, même quand je faisais bouillir celui-ci. Cela vient probablement de ce que, dans le dernier cas, la poudre contenait encore quelques petites bulles d'air. Le poids spécifique d'un pareil précipité a toujours été d'accord avec celui que l'on obtient en opérant sur de petits cristaux. Il semble nécessaire, d'après cela, d'employer toujours ce procédé pour évaluer la densité d'un corps en poudre. Beudant, dans le mémoire déjà cité, a toujours trouvé la densité d'un corps en poudre moindre que celle de ce corps en petits cristaux. Cela doit sans doute être attribué à la cause que j'ai indiquée, bien que Beudant n'ait pas indiqué la méthode qu'il employait pour évaluer le poids spécifique des corps pulvérisés.

que plus tard dans le précipité floconneux. La craie est donc, d'après cette propriété, dans le même état que le carbonate de chaux aussitôt après sa précipitation. Ce résultat ne sera peut-être pas sans intérêt pour la géologie.

D'après la méthode indiquée précédemment, on n'obtient que du spath calcaire. Mais si on fait évaporer jusqu'à siccité au bain-marie, la dissolution de chaux carbonatée dans l'acide carbonique, on obtient une poussière composée de petits cristaux : cette poussière, observée au microscope, se présente en grande partie comme un amas de cristaux transparents, qui ont incontestablement la forme de l'arragonite. Ces cristaux sont ordinairement des prismes ventrus à six faces, ou des doubles pyramides hexagonales, analogues à quelques cristaux de saphirs. Quelquefois aussi ce sont des pyramides simples, de sorte qu'ils sont terminés différemment aux deux extrémités.

On obtient aussi l'arragonite en précipitant une dissolution de chlorure de calcium bouillante par du carbonate d'ammoniaque également bouillant. Le précipité est composé de cristaux qui, observés au microscope, paraissent plus petits que ceux qu'on obtient par évaporation, mais sont néanmoins bien distincts. Ils sont en grande partie tridelphes, car sur le milieu de chaque cristal prismatique, deux autres sont implantés divergents.

D'après ces deux méthodes, il est pourtant difficile d'obtenir l'arragonite entièrement pure. Ordinairement il se trouve parmi les cristaux prismatiques une quantité plus ou moins grande de calcaire rhomboédrique; on trouve particulièrement ce mélange de calcaire rhomboédrique,

quand on produit l'arragonite par évaporation, car alors l'acide carbonique s'échappe, avant que la dissolution ait atteint la température nécessaire à la production de l'arragonite : le précipité qui en résulte doit donc prendre nécessairement la forme rhomboédrique. Il suit de là que la pesanteur spécifique de l'arragonite, ainsi obtenue, doit être moindre que celle de cette substance pure. J'évaporai à siccité, au bain-marie, 12 *quart* d'une dissolution de carbonate de chaux, en négligeant d'enlever la croûte qui se formait à la surface du liquide au commencement de l'opération, et qui consistait vraisemblablement en spath calcaire. Mais après que tout le liquide fut évaporé, je détachai, au moyen d'une carte, les deux matières confondues sur les bords de la capsule. La pesanteur spécifique d'une partie de l'arragonite, ainsi obtenue, était de 2,803. Pour obtenir de l'arragonite plus pure, je pris une dissolution de carbonate de chaux qui était restée quelque temps exposée à l'air, et avait déjà donné un précipité. Je la filtrai et la versai dans un vase, portion par portion, avec de l'eau bouillante. J'évaporai ensuite la liqueur à siccité. Je trouvai 2,836 pour la pesanteur spécifique du dépôt. Celui-ci était plus pur que le précédent : cependant il était encore mélangé de beaucoup de spath calcaire.

On obtient un pareil mélange d'arragonite et de spath calcaire, en précipitant une dissolution chaude de chlorure de calcium par le carbonate d'ammoniaque, quoique dans ce cas le précipité soit ordinairement plus pur que par la méthode de l'évaporation. J'ai souvent changé la manière de faire le précipité, en prenant une

dissolution du sel calcaire plus concentrée ou plus étendue, et en y mêlant plus ou moins de carbonate d'ammoniaque. J'ai souvent obtenu, avec de petites quantités des deux sels, un précipité qui, observé au microscope, se trouvait être de l'arragonite entièrement pure; mais quand je voulais agir sur de plus grandes masses, afin d'obtenir un précipité suffisant pour en prendre la pesanteur spécifique, il se trouvait toujours un mélange de spath calcaire.

Il y a cependant une méthode très-simple pour obtenir l'arragonite tout à fait pure, et que je n'ai trouvée qu'après avoir épuisé tous les autres moyens. Elle consiste, non pas comme je le faisais d'abord, à verser la dissolution bouillante de carbonate d'ammoniaque dans la dissolution bouillante de chlorure de calcium, mais à faire précisément l'inverse. On obtient de cette manière un précipité plus léger, qui, observé au microscope, consiste en cristaux encore plus petits que ceux obtenus dans les opérations précédentes. Ce précipité ne contient aucun rhomboèdre de spath calcaire. Sa pesanteur spécifique s'élève à 2,949. J'ai trouvé que la pesanteur spécifique d'un cristal transparent d'arragonite de Bilin en Bohême, était 2,945 (1). Beudant évalue celle de l'arragonite pulvérisée à 2,9466.

Pour conserver l'arragonite obtenue par cette précipitation, il faut la laver de suite et la sécher. Si on laisse le précipité séjourner dans la liqueur,

(1) Breithaupt (Caractères complets des minéraux, page 65) donne pour la densité d'une arragonite semblable 2,936, et 2,938 pour celle d'un second échantillon. Ces nombres sont évidemment trop petits

l'arragonite se transforme peu à peu et en totalité en spath calcaire. Huit jours suffisent pour cela. Il se forme de petits rhomboèdres qui, vus au microscope, sont parfaitement distincts, et groupés ensemble avec tant de régularité, que leur réunion présente identiquement les cristaux prismatiques de l'arragonite. Ce changement a aussi lieu, quoique plus lentement, si on conserve dans l'eau pure les cristaux d'arragonite peu de temps après leur formation.

J'ai fait cette observation au sujet du précipité d'arragonite pure, dont j'ai cherché la pesanteur spécifique. Je le conservais dans un vase, dans l'intention d'en déterminer encore une fois la pesanteur spécifique; je ne pus le faire que huit jours après. Le poids spécifique que je trouvai alors fut seulement de 2,909. Soupçonnant qu'il y avait erreur dans cette pesée, je recherchai le poids le lendemain, et il était encore plus petit, c'est-à-dire de 2,883. Le troisième jour, il était 2,891. J'observai alors l'arragonite au microscope, et j'y trouvai des rhomboèdres très-nets, ce qui expliquait la diminution de pesanteur spécifique.

Cette transformation de l'arragonite n'arrive pourtant que quand celle-ci est récemment précipitée. Si on a eu soin de la dessécher, elle n'éprouve plus aucune altération, même quand on la fait digérer de nouveau dans l'eau ou le carbonate d'ammoniaque, et qu'on la laisse des semaines en cet état. L'arragonite naturelle ne s'altère pas non plus du tout quand on la porphyrise et qu'on la traite de la même manière.

Cristallisation du carbonate de chaux par voie sèche.

On sait que la chaux carbonatée peut se fondre sous une forte pression, à une température élevée, et qu'elle cristallise par le refroidissement. James Hall en a fait le premier l'expérience, et probablement il se trouve dans la formation de l'écorce terrestre des exemples de ce phénomène, car tout le marbre s'est produit sans doute de cette manière. Le calcaire de formation ignée donne toujours en cristallisant du spath calcaire, dont les trois clivages se voient distinctement dans les gros fragments de marbre. Jamais l'arragonite ne se montre sous cet aspect. A la vérité elle se trouve souvent dans les crevasses des roches dont l'origine est évidemment ignée, comme le basalte; mais là elle est formée sans aucun doute par l'infiltration d'une dissolution calcaire, qui s'est échauffée au contact de ce basalte encore chaud, et y a déposé de l'arragonite, ainsi qu'on le conçoit, par ce qui précède.

J'ajouterai que l'arragonite ne peut pas subsister à une température élevée; car si on soumet des fragments de cette substance à une faible chaleur rouge dans un tube de verre chauffé par une lampe à alcool, ils se gonflent, comme Berzélius l'a fait voir, et tombent en une poudre blanche et opaque : une température un peu plus élevée que la précédente ne produit aucun changement dans l'état chimique de la poussière, il ne se dégage aucun gaz, comme Mittscherlich l'a prouvé (*Annales de Poggendorff*, volume 21, pag. 157); et il n'en résulte généralement pres-

qu'aucune différence de poids, comme je m'en suis assuré moi-même par quelques expériences. En effet, $1^{g},721$ de petits fragments de cristaux d'arragonite de Bilin en Bohême pesaient, après l'expérience, 1,717. Dans une autre épreuve $1^{g},9115$ pesaient 1,9090. La petite différence qui dans un cas est de 0,23 pour 100, et dans l'autre de 0,13 pour 100, vient probablement d'une décrépitation qui se manifeste par la rupture des fragments d'arragonite.

Heidinger (*Annales de Poggendorff*, vol. 11, pag. 177) a déjà cherché à expliquer le phénomène dont il vient d'être question. Il a pensé qu'il fallait l'attribuer à une transformation de l'arragonite en spath calcaire, transformation qui a lieu à une température élevée. Suivant lui, la rupture des fragments d'arragonite provient de ce que cette substance a une pesanteur spécifique plus forte que le spath calcaire, et occupe par conséquent un volume moindre.

Cette opinion est assez généralement en faveur : cependant elle n'est pas encore entièrement admise; aussi j'ai pensé qu'il était nécessaire de faire quelques recherches à cet égard. Dans ce but, je fis rougir, après les avoir pesés, des fragments de cristaux d'arragonite de Bilin; je pesai de nouveau la poussière résultante, pour me convaincre qu'aucune portion de l'acide carbonique n'avait été chassée, et je pris la pesanteur spécifique de cette poussière, je trouvai, après trois épreuves faites sur différents poids, 2,703, 2,704 et 2,709. On peut conclure avec certitude, d'après ces résultats, que l'arragonite se change en spath calcaire à une faible chaleur rouge : et si les nombres précédents sont

un peu plus petits que ceux que l'on obtient en prenant le poids spécifique de petits cristaux de spath calcaire, cela tient aux circonstances citées plus haut.

Cette propriété de l'arragonite de se réduire en poussière sous l'action d'une faible chaleur rouge est très-remarquable : elle n'appartient qu'aux cristaux assez gros, et ne se présente ni pour les petits cristaux, ni pour l'arragonite fibreuse. Le dépôt des eaux de Karlsbade perd sa translucidité au feu, mais il ne se réduit pas en poussière. Il en est de même des petits cristaux d'arragonite qui se trouvent sur le flos-ferri de la Styrie, et des cristaux microscopiques d'arragonite que l'on obtient artificiellement : aucun d'eux ne tombe en poussière.

Si on observe au microscope la poussière produite par la désaggrégation de cristaux d'arragonite suffisamment gros, on y remarque des morceaux tout à fait irréguliers, qui sont encore transparents, et remplis de fentes et de crevasses. Les petits cristaux du flos-ferri de Styrie conservent leur transparence et leur forme, mais ils paraissent pleins de fentes dans leur intérieur, et présentent sur leurs faces des crevasses souvent fort grandes. Pour les cristaux microscopiques d'arragonite artificielle, les plus gros présentent seulement quelques fentes ; les plus petits semblent n'avoir éprouvé aucune altération, ils conservent leur forme et leur transparence. Cependant la masse est entièrement changée en spath calcaire, comme le prouve la recherche de la pesanteur spécifique. Le mélange d'arragonite et de spath calcaire, obtenu par l'éva-

poration au bain-marie, mélange dont j'ai trouvé, dans une expérience, le poids spécifique égal à 2,803, a été exposé à une forte chaleur dans un creuset de platine, afin de bien s'assurer de la transformation de toute l'arragonite, transformation qu'on ne peut pas voir comme quand on se sert de gros cristaux (1). De cette manière, une partie du carbonate de chaux a été décomposée; mais la chaux résultante a été aussitôt enlevée par une grande masse d'eau. On a bien lavé la poudre qui restait, et on l'a séchée. En observant au microscope, on vit que les plus gros cristaux d'arragonite s'étaient fendus, comme cela a déjà été dit. Je trouvai que la pesanteur spécifique de la matière, ainsi traitée, était de 2,700, comme celle de l'arragonite chauffée au rouge.

Cette circonstance prouve que les plus petites particules des petits cristaux d'arragonite peuvent se dilater et se mouvoir sans que la forme de ces cristaux éprouve aucun changement, et produire, sous la forme de l'arragonite, des cristaux parfaits de spath calcaire. Peut-être ne serait-il pas impossible de faire éprouver une pareille transformation à de plus gros cristaux d'arragonite, en les exposant à une chaleur graduellement augmentée.

---

(1) Il vaut mieux exposer l'arragonite à une température plus élevée dans un tube de verre à boule, en faisant passer sur elle un courant d'acide carbonique. Pour s'assurer si, après l'addition de l'eau, quelque partie de la masse simplement calcinée se dissout, il ne suffit pas de voir si le papier de tournesol rougi est ramené au bleu; car le carbonate de chaux non décomposé produit cet effet quand on le pulvérise et qu'on l'arrose d'eau.

Les résultats de mes recherches sont donc :

1° Que l'on peut obtenir le spath calcaire, aussi bien que l'arragonite, par la voie humide, le premier à une température basse, la deuxième à une température plus élevée, et qu'on produit seulement le spath calcaire par la voie sèche.

2° Que le carbonate de chaux se trouve immédiatement après la précipitation d'une dissolution froide dans un état de cristallisation confuse qui a du rapport avec celui de la craie, et où ne se manifeste que plus tard une cristallisation nette.

3° Que l'arragonite se change facilement en spath calcaire, par la voie humide, si on la laisse séjourner, après la précipitation, sous l'eau ou sous une dissolution de carbonate d'ammoniaque. Mais que, par la voie sèche, si on soumet l'arragonite à une faible chaleur rouge, les gros cristaux sont réduits en poussière, et les petits cristaux conservent leur forme, et se changent en spath calcaire épigène.

Il suit encore de là que l'on ne peut attribuer, comme cela est arrivé souvent, la formation de l'arragonite à la petite quantité de carbonate de strontiane qu'elle renferme presque toujours. En effet, on connaît des arragonites sans strontiane, et il résulte indubitablement de tout ce qui précède que l'on peut toujours obtenir artificiellement de l'arragonite sans carbonate de strontiane. J'ai mis à dessein dans la dissolution de chlorure de calcium un peu de chlorure de strontium, et, dans ce cas, en précipitant, à la température ordinaire, avec du carbonate d'ammoniaque, je ne pus obtenir que des cristaux de spath calcaire.

La forme de l'arragonite se trouve dans la withérite, la strontianite et le plomb blanc ou les carbonates neutres de baryte, de strontiane et de plomb : mais je n'ai pas encore réussi à produire pour ces substances la forme rhomboédrique, en employant la méthode que j'avais suivie pour le carbonate de chaux.

Si l'on dissout le carbonate de baryte dans l'acide hydrochlorique, et si on précipite ensuite la dissolution par du carbonate d'ammoniaque, on obtient, que la dissolution soit chaude ou froide, un précipité qui, vu au microscope, consiste en cristaux évidemment semblables à ceux de l'arragonite.

Si l'on traite de la même manière le carbonate de strontiane, on reconnaît très-clairement au microscope, dans le précipité obtenu par une dissolution chaude, des cristaux semblables à ceux de l'arragonite. Le précipité formé dans une dissolution froide, présente des globules amoncelés qui ne laissent distinguer aucune forme.

Avec le carbonate de plomb c'est l'inverse : le précipité formé dans une dissolution froide se compose de cristaux ayant la forme de l'arragonite. Ils sont beaucoup plus petits et moins visibles que ceux que l'on obtient par le carbonate de baryte ou celui de strontiane. Vraisemblablement on obtiendra des cristaux d'une forme bien arrêtée par une dissolution froide de muriate de strontiane, ou par une dissolution chaude de muriate de plomb, quand on aura trouvé quelles sont les circonstances favorables à la formation de ces cristaux, vraisemblablement aussi ces cristaux auront la forme de l'arragonite. On explique bien par-là qu'il peut se trouver un petit mélange de

carbonate de strontiane dans l'arragonite, mais que cela n'arrive jamais dans le spath calcaire, lors même que ce carbonate et celui de strontiane sont ensemble dans le même gîte. On ne trouve pas non plus de carbonate de baryte dans le spath calcaire; mais ces deux composés forment un sel double, la baryto-calcite, combinaison d'un atome de carbonate de chaux avec un atome de carbonate de baryte. Il se trouve seulement quelquefois dans le spath calcaire un petit mélange de carbonate de plomb. Johnston a décrit une combinaison semblable sous le nom de plumbocalcite.

Je n'ai pas réussi à faire prendre aux derniers sels dont il a été question, qui se présentent seulement sous la forme de l'arragonite, celle du spath calcaire. Mais je suis parvenu à obtenir sous la forme de l'arragonite un sel qui jusqu'ici s'est présenté toujours sous celle du spath calcaire: ce sel est le carbonate neutre de magnésie. On évapore à sec une dissolution de ce carbonate, en se servant d'un bain-marie. On en obtient une poussière cristalline qui laisse voir sous le microscope des cristaux semblables à ceux de l'arragonite. Ces cristaux sont plus gros que ceux qu'on obtenait par l'évaporation d'une dissolution de carbonate de chaux. Ils ne se trouvent pas seuls dans la poussière dont il est question : on y voit encore des globules rayonnés que Fritzsche a décrits (*Annales de Poggendorff*, vol. 27, pag. 304), et qu'il a prouvé appartenir à la *magnesia alba*, mais je crois devoir mentionner les cristaux, parce qu'on n'avait pas produit encore le carbonate neutre de magnésie à l'état sec.

Je n'ai pas pu donner à ces derniers corps toute l'attention qu'ils méritent. Il reste encore ici un vaste champ ouvert à de nouvelles recherches.

6	»	123
24	5	1,082
21	2	16,634
5	3	222
»	»	19,634
»	»	4,079
»	»	35,010
»	»	5,728
»	»	1,046
»	»	8,502
»	»	8,367
»	»	4,055
»	»	7,109
»	»	70,396
165	15	10,497
299	7	10,052
2,350	21	10,433
10,079	373	44,604
1,524	31	4,298
355	3	2,216
44	11	1,230
61	6	182
14	»	176
»	»	79,402
»	»	»

'administration n'a commencé que 1834 à recueillir les documents rela- x chapitres IV et V. Ces documents :nt pu être complétés l'année der- que pour une partie des départe- ou certaines industries. Cette an- s offrent toute la précision qu'on it atteindre à l'égard d'exploitations fabriques sur lesquelles l'administra- exerce point d'action directe.

a a considéré comme la valeur créée s diverses industries dont traite la tion du chapitre V, la valeur même oduits, parce qu'on n'a pas pu en er celle des matières premières. Il ilte que la valeur de l'argile fine ou ne, de la pierre à chaux et de la à plâtre figure explicitement dans le e des exploitations, implicitement : chapitre des élaborations de ces substances. Cet inconvénient est e sans importance, et le double qui en résulte ne peut que très- ent influer sur le chiffre de la ion minérale en France.

des mines en **1836.**

JURISPRUDENCE DES MINES;

Par M. DE CHEPPE, chef de la division des mines.

RECHERCHES DE MINES.

1. *Lorsque deux personnes demandent à exécuter des recherches de mines sur un terrain appartenant à autrui, et que le propriétaire ne donne son consentement qu'à l'une des deux, le gouvernement peut, en vertu de l'article* 10 *de la loi du* 21 *avril* 1810, *autoriser celle qui s'est trouvée exclue à opérer les recherches avec l'autre concurrent, s'il juge que cela sera utile à l'intérêt public.*

2. *Dans le cas où il s'agit d'un terrain communal, le préfet est compétent pour régler, sur l'avis du conseil municipal, le mode suivant lequel la commune veut déléguer la faculté qu'elle possède de faire des recherches dans son propre terrain.*

   Si donc le préfet donne son approbation à la délibération du conseil municipal qui exclut l'une des deux compagnies, tout se trouve consommé sous le rapport de la tutelle communale.

   Mais le gouvernement peut user alors du droit que lui confère l'article 10, *et, agissant au nom de l'intérêt public, admettre les deux concurrents à faire les explorations.*

Aux termes de l'article 10 de la loi du 21 avril 1810, lorsqu'un tiers demande à faire des recherches de mines sur des terrains qui ne lui appartiennent pas, et que le propriétaire refuse son consentement, le gouvernement a la faculté d'autoriser les travaux, sur l'avis de l'adminis-

tration des mines, à la charge d'une préalable indemnité envers le propriétaire. L'on a vu dans l'un des précédents volumes des *Annales* (1), qu'en ce cas, c'est par une ordonnance royale que l'autorisation doit être accordée.

Mais lorsque deux personnes se présentent pour exécuter des explorations sur un même fonds, et que le propriétaire ne donne son assentiment qu'à une seule, peut-on conférer à la seconde la permission de se livrer aussi à des recherches sur ce terrain?

Comment doit-on procéder s'il s'agit d'un bien communal?

Ces questions se sont présentées dans deux affaires que nous allons rapporter.

Dans la première, deux sociétés, la compagnie Servat et la compagnie Ducos, avaient demandé à rechercher des mines de fer dans un terrain appartenant à la commune de Massat, département de l'Ariége. Le conseil municipal accorda à la compagnie Servat seule la faculté d'entreprendre ces travaux.

La compagnie Ducos se pourvut auprès de l'autorité.

Les ingénieurs des mines ont exposé qu'il y aurait de l'avantage à ce que les recherches fussent faites par les deux sociétés, attendu qu'on aurait ainsi plus de probabilité de parvenir à des découvertes.

Le préfet, partageant la même opinion, et jugeant en outre que la commune avait mal compris ses intérêts, parce qu'il serait utile pour elle que l'on arrivât promptement à découvrir des gîtes exploitables, refusa de sanctionner la délibération du conseil municipal et en référa à l'autorité.

A cette époque, l'administration des mines faisait partie du ministère de l'intérieur. Le directeur général, conformément à l'avis du conseil général des mines, proposa au ministre d'autoriser les deux compagnies. Cette proposition fut adoptée.

On considéra que le ministre de l'intérieur, comme chargé de la tutelle communale, avait le pouvoir de régler dans l'intérêt de la commune, qui se confondait ici avec l'intérêt public, le mode suivant lequel il convenait qu'elle déléguât le droit qui lui appartenait, à titre de

(1) Tome 2, 3e série, pag. 559 et suiv.

propriétaire, de faire des recherches sur son terrain. En conséquence une décision du 9 octobre 1830 permit à MM. Ducos d'exécuter simultanément avec la société Servat des travaux de recherches sur le terrain de la commune de Massat. Des démarcations distinctes furent assignées à cet effet à chacune des deux compagnies.

Dans la seconde affaire, deux sociétés, MM. Tourangin et compagnie, et MM. Luzarche et Grenouillet, se présentaient également pour rechercher une mine de plomb sur un terrain dont la commune d'Urciers, département de l'Indre, est propriétaire.

Le conseil municipal d'Urciers rejeta les offres de MM. Tourangin, et se prononça exclusivement en faveur de MM. Luzarche et Grenouillet.

Le préfet de l'Indre revêtit de sa sanction la délibération du conseil minicipal.

MM. Luzarche et Grenouillet commencèrent leurs explorations; mais ayant été forcés de les interrompre pendant quelque temps à cause de la mauvaise saison, MM. Tourangin formèrent une demande pour obtenir la permission de poursuivre ces travaux.

Le préfet jugea devoir rejeter cette demande.

Il y avait donc ici cette différence avec la première espèce, que la délibération du conseil municipal, qui excluait l'un des deux concurrents, se trouvait sanctionnée par le préfet.

Le ministre de l'intérieur, à qui l'affaire fut communiquée, observa que les préfets étaient compétents pour régler, sur l'avis des conseils municipaux, l'exercice du droit que les communes possèdent, comme propriétaires, de faire ou de céder à des tiers la faculté d'entreprendre des recherches de mines sur leurs terrains; qu'ainsi tout était consommé sous le rapport de la tutelle communale.

En effet, d'après la nouvelle loi du 18 juillet 1837, les délibérations des conseils municipaux ayant pour objet des ventes ou échanges d'immeubles, le partage de biens indivis dont la valeur n'excède pas un certain taux, sont exécutoires sur arrêté du préfet. A plus forte raison doit-il en être ainsi pour de simples recherches qui ne sont point une aliénation, qui ne sont qu'une délégation temporaire d'un exercice du droit de propriété.

Il s'agissait dès lors, en cet état de choses, de décider si, sous le point de vue de l'intérêt public et en vertu de

l'article 10 de la loi du 21 avril 1810, il y avait lieu d'admettre la compagnie Tourangin à explorer avec l'autre société le territoire communal d'Urciers.

Le conseil général des mines a pensé qu'il importait au succès de ces travaux, et qu'il était nécessaire, pour la concession ou les concessions que l'on aurait ultérieurement à instituer en cas de découvertes de gîtes exploitables, que des recherches fussent opérées par les deux compagnies. Il a reconnu que le terrain était d'ailleurs assez étendu pour qu'elles pussent effectuer conjointement ces explorations; il lui a paru enfin que le droit qui est conféré au gouvernement, d'autoriser des recherches sur le refus du propriétaire, s'étendait nécessairement au cas où le propriétaire ne donne son consentement qu'à un seul des concurrents et le refuse à l'autre.

Le directeur général et le ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce ont partagé cet avis, et par une ordonnance royale du 28 novembre 1837 (1), la compagnie Tourangin a été admise, conjointement avec MM. Luzarche et Grenouillet, à opérer des recherches dans le terrain qui appartient à la commune d'Urciers.

On avait objecté dans cette affaire que la commune d'Urciers ayant donné son consentement à la compagnie Luzarche et Grenouillet, cette dernière société se trouvait représenter la commune; et on contestait que l'article 10 de la loi pût être applicable; on prétendait que cet article ne concerne que le cas où le propriétaire ne fait pas lui-même des recherches et n'a mis personne en son lieu et place pour les entreprendre. Mais on a jugé que cette objection n'était point fondée.

L'article 10 en effet ne contient pas une telle distinction; elle eût été contraire au but que l'on s'y est proposé de favoriser les recherches de mines, la découverte des substances minérales si importantes pour le pays Si par cela seul qu'un propriétaire fait lui-même des recherches, ou a cédé cette faculté à un autre, le gouvernement se trouvait privé du droit d'autoriser un tiers à en entreprendre également, il en résulterait que si le propriétaire ou son représentant n'effectuaient que des travaux imparfaits, bornés à un petit espace, un terrain vaste, où l'on aurait pu faire

(1) Voir cette ordonnance, ci-après, page 679.

peut-être d'utiles découvertes, resterait inexploré. Ce propriétaire pourrait même, à l'aide de quelques sondages insignifiants, qui n'auraient au fond rien de sérieux, et sous le prétexte seulement qu'il se livre à une exploration, arrêter l'action du gouvernement; l'intention prévoyante de la loi serait éludée. Tout propriétaire, quand il le voudrait, pourrait empêcher les recherches. Il est évident qu'il n'en saurait être ainsi. Sans doute on n'est point en droit d'exclure celui qu'il a admis et de mettre un autre à sa place; sans doute aussi il convient de n'employer qu'avec mesure la faculté de permettre à un tiers d'opérer des travaux sur la propriété d'autrui; on ne doit se décider à délivrer une semblable autorisation que par des motifs graves. Mais quand ces motifs existent, il appartient au gouvernement d'user du droit qui lui est conféré par les termes explicites et formels de l'article 10 de la loi du 21 avril 1810. Dans les affaires de mines, où la propriété se trouve en contact avec l'intérêt public, il ne faut pas perdre de vue que l'intérêt général est la base de cette loi spéciale, le but de ses dispositions. Au premier abord, on peut s'étonner qu'un propriétaire soit forcé de laisser fouiller son terrain contre son gré, d'y admettre un tiers qu'il n'a pas choisi, et cela alors même qu'un autre a obtenu son consentement. Mais pour peu qu'on y regarde de plus près, on reconnaît facilement que le législateur ne pouvait laisser l'intérêt général à la merci d'oppositions mal entendues; et que dès lors il devait donner à l'administration publique, agissant dans cet intérêt, les moyens de vaincre des résistances qui l'auraient compromis.

Il est bon de dire du reste que les difficultés de cette nature sont rares. Généralement les propriétaires s'entendent avec les explorateurs; et ce n'a été que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles que le gouvernement s'est vu dans la nécessité d'intervenir. La faculté dont il avait besoin existe; cela suffit pour aplanir bien des obstacles; et c'est ainsi qu'il faut toujours s'applaudir de la sage prévoyance des lois.

MINES. — INDEMNITÉS POUR TRAVAUX DE RECHERCHES ET OCCUPATIONS DE TERRAINS.

1. *C'est aux conseils de préfecture qu'il appartient de régler les indemnités qui sont dues aux propriétaires du sol par les explorateurs de mines qui ont obtenu du gouvernement l'autorisation d'étendre leurs recherches sur les terrains de ces propriétaires, ou par un concessionnaire qui y entreprend des travaux.*
2. *Pareillement, c'est à la même juridiction que doivent s'adresser les concessionnaires de mines, à l'effet d'être mis en possession des terrains qui leur sont nécessaires pour un travail d'art, et qui se trouvent situés dans l'enceinte de leur concession* (1).

MINES. — DEMANDES EN CONCESSION.

Il n'y a lieu de procéder aux publications et affiches des demandes en concession de mines, et d'instituer des concessions, que lorsque l'existence des gîtes minéraux est suffisamment constatée.

On a vu dans plusieurs numéros précédents des décisions qui ont refusé de faire publier et afficher, et qui ont déclaré comme non avenues des demandes en concession de mines, à défaut d'une existence suffisamment constatée des gîtes minéraux dont ces demandes étaient l'objet.

Ces décisions avaient été rendues dans des espèces particulières. Il convenait d'indiquer d'une manière générale,

---

(1) Voir ci-après, page 672, l'arrêté de M. le ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce, du 7 octobre 1837, et page 703, la circulaire de M. le directeur général des ponts-et-chaussées et des mines, du 5 novembre.

pour tous les cas analogues qui peuvent se présenter, les règles qui doivent être suivies et les considérations sur lesquelles elles reposent. A cet effet, une circulaire a été adressée, le 31 octobre 1837, à MM. les préfets des départements et à MM. les ingénieurs des mines. On la trouvera ci-après, page 699.

MINES.

1. *L'article* 51 *de la loi du* 21 *avril* 1810, *qui a rendu perpétuelles les concessions temporaires antérieures, ne s'applique qu'aux concessions qui ont pour objet des substances minérales que la loi déclare concessibles, c'est-à-dire qu'aux substances qu'elle a rangées dans la classe des mines.*

Quant aux concessions qui ont été faites anciennement de substances qui ne sont plus aujourd'hui concessibles, les titulaires ne peuvent prétendre qu'à en conserver la jouissance pendant la durée qui a été fixée dans les actes qui les ont instituées.

2. *Lorsque l'acte relatif à une concession de ce genre n'a déterminé que provisoirement une certaine redevance, et a stipulé que celle qui serait payée à l'avenir devrait être réglée suivant le mode déterminé par la nouvelle législation à intervenir, on ne peut laisser aux concessionnaires l'option de s'en tenir au taux provisoire de redevance indiqué dans leur titre. La perception doit avoir lieu conformément aux règles établies par cette législation nouvelle.*

Les terres pyriteuses et vitrioliques en dépôts d'alluvion, lorsqu'on les exploite pour la fabrication de l'alun, du sulfate de fer et autres sels, sont rangées par la loi du 21 avril 1810, dans la classe des minières, et leur exploitation n'est assujettie qu'à une simple permission. Mais les

lois antérieures ne les avaient point distinguées des autres gîtes de minerais ; elles les comprenaient sous la dénomination générale de mines, et partant, les déclaraient concessibles par leur nature.

Deux décrets du 11 mai 1807 ont ainsi institué des concessions, pour l'exploitation de ces substances, dans les communes d'Urcel et de Chaillevet, département de l'Aisne. Ces concessions étaient faites pour cinquante années. Les décrets portaient en outre que la redevance à payer à l'état serait provisoirement, pendant deux ans, de 500 francs par année ; qu'après ce délai, elle serait réglée définitivement, suivant le mode qui se trouverait établi par la nouvelle législation sur les mines.

Cette législation est intervenue en 1810 ; elle fixe la redevance proportionnelle au vingtième du produit net, et elle ne reconnaît plus comme concessibles les substances dont avaient disposé les décrets précités.

La question s'est présentée de savoir quels devaient être désormais les effets de ces actes souverains, c'est-à-dire si le bénéfice de la disposition qui déclare perpétuelles les anciennes concessions dont la durée n'était point expirée, pouvait être acquis aux concessionnaires d'Urcel et de Chaillevet.

Il a paru au directeur général des mines et au ministre de l'intérieur, qu'on ne pouvait étendre ainsi les termes de la loi ; qu'on devait, pour ne point lui donner un effet rétroactif, maintenir la jouissance des concessionnaires, mais seulement pendant la durée fixée par les titres primitifs ; que c'était là tout ce que demandait l'équité.

Un arrêté du ministre, du 28 janvier 1812, a statué en ce sens.

Quant à la redevance proportionnelle, le même arrêté laissait le choix aux concessionnaires entre celle qui est fixée par la loi du 21 avril 1810, et celle que les titres d'institution avaient déterminée.

Aux termes de cette loi, les concessionnaires de mines peuvent faire des soumissions d'abonnement. Usant de cette faculté, les concessionnaires d'Urcel et de Chaillevet ont soumissionné des abonnements, les premiers de 300 francs, les seconds de 200 francs. Ces abonnements ont été acceptés le 12 février 1812. Ils ont duré jusqu'en 1825, époque à laquelle une remise de toute redevance fut accordée pendant dix années.

En 1835, ces concessionnaires formèrent une demande pour obtenir qu'elle fût continuée. Cette demande fut rejetée. Alors ils invoquèrent le bénéfice de l'optiou résultant de la décision ministérielle de 1812; elle leur fut déférée, mais seulement pour une année. Il s'est agi ensuite de statuer pour l'avenir d'une manière définitive.

On a reconnu que l'on devait suivre le régime établi par la loi du 21 avril 1810, c'est-à-dire percevoir le vingtième du produit net. En effet, la redevance fixe avait été constamment perçue d'après la nouvelle législation. Depuis 1812, les concessionnaires avaient acquitté, conformément au régime établi par cette même législation, la redevance proportionnelle : on ne pouvait, ainsi que l'avait fait l'arrêté de 1812, laisser l'option, puisque les décrets de 1807 portaient que la redevance n'était que *provisoirement* réglée à 500 francs, et qu'elle serait par la suite fixée définitivement suivant le mode que prescrirait la nouvelle législation.

En ce qui concernait la question de la durée des concessions, on a considéré de nouveau que si l'article 51 a déclaré propriétaires incommutables les concessionnaires dont les titres étaient antérieurs à 1810, cette disposition ne peut toutefois s'appliquer qu'aux substances que la loi a maintenues dans la classe des gîtes concessibles, et non à celles qu'elle a affranchies de cette condition, comme devant être une dépendance de la propriété du sol.

Le principe de non rétroactivité veut que les concessionnaires de ces dernières substances en conservent la jouissance pendant toute la durée qui a été fixée par leurs titres; mais il n'exige rien de plus. Le législateur, pour mieux assurer l'aménagement des mines, pour prévenir les graves inconvénients qui résultaient des jouissances temporaires que l'on accordait autrefois, ayant décidé par l'article 7 que les concessions seraient désormais perpétuelles, a voulu que les anciennes concessions reçussent dès ce moment le même caractère : tel est le sens, le but de l'article 51. Par conséquent, par ces mots *concessionnaires antérieurs*, il n'a pu entendre que les concessionnaires de *mines*, que ceux qui exploitaient les gîtes minéraux, dont il voulait garantir la bonne exploitation, en inspirant à leurs possesseurs, par la perpétuité qu'il donnait à leur jouissance, cet esprit de sage économie, de conservation, qui s'attache à une propriété que l'on regarde

comme un patrimoine, comme un bien de famille. Quant aux autres concessionnaires, il n'avait aucun motif pour leur accorder la même faveur. Il y aurait même eu de la contradiction à procéder ainsi; car, rendre une concession perpétuelle, de temporaire qu'elle était, c'est en quelque sorte la concéder de nouveau; c'est la prendre où elle finit pour la faire revivre, et il est évident qu'une loi, qui n'admet plus les concessions d'une certaine matière minérale, n'a pu avoir la pensée de donner la perpétuité à ces mêmes concessions. Les titulaires n'ont point à se plaindre, ils n'ont rien à réclamer; quand on laisse à leur possession toute la durée fixée dans leurs titres, on fait tout ce qui est juste à leur égard. Sur quoi pourraient-ils se fonder pour prétendre la conserver au delà du temps pour lequel ils l'avaient obtenue? Assurément ce n'est pas sur une loi qui est venue précisément déclarer que cette matière n'est point concessible; mais à côté d'eux se trouvent les propriétaires du sol : ceux-là sont véritablement fondés à revendiquer, à l'expiration du terme de la concession, ce qui, d'après la loi nouvelle, forme une dépendance de la propriété de la surface; c'est envers eux que l'on serait injuste, si on leur interdisait de rentrer dans ce qui leur appartient, dans un bien dont ils n'étaient privés que temporairement.

D'après les motifs qui viennent d'être exposés, le ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce a, sur la proposition du directeur général des ponts et chaussées et des mines, et par décision du 25 novembre 1837, maintenu l'arrêté de 1812 dans les dispositions qui portaient que les concessions d'Urcel et de Chaillevet n'auraient d'autre durée que celle qui était fixée par les décrets d'institution; et il a rapporté cet arrêté dans la disposition seulement qui laissait l'option aux concessionnaires, en ce qui concerne la redevance proportionnelle due à l'état : il a statué que cette redevance serait perçue conformément aux règles établies par la loi du 21 avril 1810 et le décret du 6 mai 1811.

Nous citerons à cette occasion un autre exemple dans lequel le principe, que les articles 51 et 53 de la loi ne concernent point les substances qui ne sont plus concessibles, a reçu son application en matière de carrières.

Un arrêt du conseil, du 6 mars 1787, a accordé à une compagnie le droit d'exploiter pendant trente ans, dans un

rayon de 1,500 toises, les ardoisières de Rimogne, dans le département des Ardennes.

Plusieurs années après, en 1795, des propriétaires du sol, ayant voulu extraire de l'ardoise sur ce même terrain, un arrêté du comité de salut public, du 13 messidor an III, maintint la compagnie dans la jouissance de sa concession, dont le terme n'était point encore expiré, et fit défense de la troubler.

En l'an IV, même décision du directoire exécutif, du 8 nivôse, à l'occasion de nouveaux troubles que cette société avait éprouvés.

En 1811, la compagnie demanda que sa concession fût délimitée et déclarée perpétuelle, réclamant à cet égard le bénéfice des articles 51 et 53 de la loi de 1810, qu'elle soutenait lui être applicables.

Les autorités locales proposèrent d'accueillir cette demande.

Le conseil général des mines conclut dans le même sens, mais par cette considération toute spéciale, que ces ardoisières, d'après l'importance de leur exploitation et la nature des travaux d'art qu'elles exigeaient, se trouvaient dans une catégorie particulière, analogue à celle des gîtes minéraux que la loi regarde comme concessibles.

Le ministre de l'intérieur proposa de proroger pendant vingt années la permission d'exploiter; il présenta à cet effet un projet de décret.

Mais le conseil d'état, considérant que les ardoisières sont rangées parmi les substances qui font partie de la propriété de la superficie, et dont l'exploitation n'est assujettie qu'à la surveillance de la police et de l'administration; que, par conséquent, à l'expiration des trente années fixées par l'arrêt de 1787, les propriétaires du sol auraient le droit de rentrer en possession des portions de ces ardoisières qui seraient situées sur leurs terrains, a pensé qu'on ne pouvait accorder à la compagnie aucune prorogation de permission. Seulement, observant, d'un autre côté, que la loi n'avait pas prévu le cas où de grandes exploitations, telles que celles de Rimogne, ont besoin de s'étendre, pour le développement de leurs travaux, sur des terrains d'autrui; que si les propriétaires du sol s'opposaient un jour à ces exploitations pour se livrer eux-mêmes à des extractions partielles et isolées, il pourrait en résulter un grave pré-

judice pour l'industrie ; qu'il importait dès lors de donner des garanties de jouissance et d'avenir à ceux qui entreprennent à grands frais des exploitations de ce genre, le conseil d'état demanda que le ministre avisât aux dispositions qu'il conviendrait d'établir pour concilier l'intérêt public en semblables circonstances avec les intérêts des propriétaires du terrain.

Cet avis reçut l'approbation de l'empereur, le 28 avril 1813.

Le conseil général des mines fut appelé à préparer les bases des mesures demandées par le conseil d'état.

Elles firent l'objet d'un projet de loi qui fut renvoyé en 1816 à l'examen du comité de l'intérieur du conseil d'état.

Dans le projet proposé par le comité, on admettait la concessibilité pour les grandes exploitations d'ardoisières, à la charge toutefois, par ceux qui se présenteraient pour obtenir ces concessions, de se procurer préalablement le consentement des propriétaires du terrain. En cas de refus de ces propriétaires, et s'ils ne s'engageaient pas à exploiter par eux-mêmes, il pouvait être procédé à l'expropriation dans les formes de la loi du 8 mars 1810. Les exploitants actuels étaient maintenus à perpétuité dans leur jouissance.

On ne donna pas suite à ce projet.

En 1819, la compagnie de Rimogne, dont la concession était expirée dès 1817, demanda un renouvellement de concession.

Le conseil général des mines fit observer que, d'après l'avis du conseil d'état du 13 avril 1813, qui avait eu l'autorité d'une décision par l'approbation du chef du gouvernement, on ne pouvait accueillir la demande de la compagnie ; que tout ce qui était possible, c'était de recourir à des mesures législatives. Il proposa un nouveau projet de loi qui fut adopté le 8 juin 1820 par le conseil d'état, et qui consistait principalement à assujettir les propriétaires du sol à l'obligation de livrer aux exploitants de carrières les terrains nécessaires à l'ouverture des galeries qui seraient reconnues indispensables pour l'écoulement des eaux, et par le passage d'un champ d'exploitation dans un autre. Il devait être procédé, dans ces cas, conformément aux règles de l'expropriation pour cause d'utilité publique. Enfin, on déterminait les servitudes

que des exploitations limitrophes auraient à supporter entre elles, en établissant que les dispositions de l'article 45 de la loi du 21 avril 1810, qui sont spéciales aux mines, s'étendraient aux minières, carrières ou ardoisières.

Les choses sont demeurées en cet état. Mais l'on voit que l'on reconnaissait que les articles 51 et 53 de la loi du 21 avril 1810 ne peuvent s'étendre aux anciennes concessions de substances qui ne sont plus concessibles sous l'empire de la législation actuelle; qu'on n'aurait point le droit de proroger la durée de ces concessions au delà du terme fixé par les actes qui les ont instituées; qu'à l'expiration de ce terme, les propriétaires du sol doivent avoir la faculté de rentrer dans la pleine possession de leurs terrains; qu'enfin une loi nouvelle serait absolument indispensable pour rendre applicables aux carrières ou ardoisières les dispositions qui concernent les mines dans la loi du 21 avril 1810.

MINES.

1. *A l'autorité administrative seule il appartient de déterminer les limites d'une ancienne concession de mine, lorsqu'elles n'ont point été fixées par le titre primitif ou en exécution de la loi du* 28 *juillet* 1791.
2. *Un conseil de préfecture, qui en interprétant l'acte de vente d'une concession de ce genre fait à des tiers par l'état ou un établissement public, aurait préjugé la délimitation de la mine et l'étendue de la concession, excède les limites de sa compétence* (1).
3. *Le ministre peut se pourvoir directement au con-*

---

(1) Nous avons rapporté dans le tome V 3e série des *Annales*), page 675, une ordonnance du 5 décembre 1833, qui, conformément aux principes appliqués dans l'espèce présente, a également annulé l'arrêté d'un conseil de préfecture statuant sur les limites d'une concession de mine.

seil d'état contre cet arrêté, en vertu de l'article 25 du décret du 11 juin 1806 et de l'article 16 du décret du 22 juillet même année. Les règles relatives aux tierces-oppositions ne sont point ici applicables.

Un arrêt du conseil, du 1er mars 1763, a accordé pour trente ans, au chapitre de Lure et à MM. de Reynac et d'Andelaw, baron de Ronchamp, la concession d'une mine de houille qu'ils avaient découverte sur les territoires de Champagney et de Ronchamp, en Franche-Comté.

Par un second arrêt, du 30 mars 1784, cette concession fut prorogée de trente années.

A la révolution, la mine de Ronchamp et Champagney, par suite de l'émigration des concessionnaires, devint propriété nationale.

MM. de Reynac et d'Andelaw étant rentrés en France, furent réintégrés dans la moitié qui leur appartenait sur cette concession, d'après les arrêts de 1763 et 1784.

L'autre moitié, provenant du chapitre de Lure, fut affectée à la dotation de la Légion-d'Honneur.

Cette seconde portion passa ensuite à la caisse d'amortissement, et celle-ci la vendit aux enchères publiques, le 4 juin 1812, à MM. d'Andelaw, Dolfus et consorts, déjà propriétaires de l'autre moitié. Il fut énoncé dans l'acte que la houillère était vendue dans l'état où elle se trouvait, et telle qu'en avaient joui et avaient droit d'en jouir la caisse d'amortissement et les précédents possesseurs, mais sans désignation de limites, et à la charge par les acquéreurs de se conformer aux dispositions de la loi du 21 avril 1810, et aux obligations imposées à tous propriétaires de mines, sans pouvoir aucunement s'en dispenser à raison de l'origine de la propriété.

En 1822, des tiers ayant demandé une concession des mines de houille sur le territoire de Champagney, MM. d'Andelaw, Dolfus et consorts crurent devoir recourir au conseil de préfecture de la Haute-Saône pour faire interpréter la vente qui leur avait été faite.

Le conseil de préfecture admit leur requête, et rendit le 13 juin 1823, un arrêté ainsi conçu :

Art. 1er. « L'adjudication, du 4 juin 1812, passée à » MM. d'Andelaw et Dolfus, de la moitié des houillères » de Ronchamp et Champagney, a conféré aux acqué-

» reurs le droit d'exploiter la mine dans la moitié de » toute l'étendue des territoires de ces deux communes.

Art. 2. « Les parties conservent tous leurs droits pour » faire décider par qui il appartiendra sur l'étendue et » la nature de la concession primitive des houillères. »

Les demandeurs en concession attaquèrent cet arrêté au conseil d'état.

Une ordonnance royale, du 11 août 1824, les déclara non recevables, comme étant sans qualité et sans droit pour se pourvoir contre l'arrêté du conseil de préfecture, lequel, en tant qu'il aurait préjugé la question de délimitation, ne pouvait être attaqué que par l'administration.

A la suite de cet incident, l'autorité administrative, en procédant à l'instruction des demandes en concession dont l'instance avait été reprise, jugea qu'il y avait lieu par elle de provoquer l'annulation de l'arrêté du conseil de préfecture du 13 juin 1823, que MM. d'Andelaw et consorts opposaient à tout demandeur en concession de mines dans cette localité, et sur lequel ils s'appuyaient pour se refuser à une délimitation.

En conséquence, et à la suite de l'examen de l'affaire en conseil général des mines, le ministre de l'intérieur a provoqué cette annulation, le 23 avril 1825, devant le conseil d'état.

Deux questions étaient à résoudre, question de forme et question de fond.

Question de forme : L'administration n'ayant pas été mise en cause devant le conseil de préfecture lors de l'arrêté attaqué, devait-elle se pourvoir par tierce-opposition contre cet arrêté devant ce même conseil de préfecture, aux termes des articles 474 et 475 du Code de procédure civile, et le pourvoi formé par le ministre devant le conseil d'état était-il par conséquent non recevable? — Ou bien, conformément à l'article 16 du règlement du 22 juillet 1806, le ministre était-il recevable, en tout état de cause, à attaquer au conseil d'état un arrêté du conseil de préfecture, qu'il regardait comme empiétant sur les droits de l'administration?

Question de fond : L'arrêté rendu dans l'espèce par le conseil de préfecture de la Haute-Saône était-il contraire à la loi du 21 avril 1810 sur les mines, et aux attributions

que cette loi a conférées en ces matières au pouvoir administratif?

Sur la première question, le ministre a exposé qu'il avait introduit son pourvoi conformément à l'article 25 du décret du 11 juin 1806, sur l'organisation du conseil d'état, et à l'article 16 du décret du 22 juillet même année, portant règlement pour les affaires contentieuses déférées à ce conseil; que son recours, formé uniquement dans l'intérêt de l'exécution de la loi, ne pouvait être assimilé à une tierce opposition, et que le Code de procédure civile ne régissait point d'ailleurs les matières administratives. Les dispositions des deux décrets précités lui donnaient le droit d'exercer un pourvoi direct, et ce droit avait déjà été sanctionné par des ordonnances antérieures. Il ajoutait que chaque jour il faisait usage de ce recours direct dans une multitude de cas, tels que les délits de voirie, les alignements, etc.

Sur la seconde question, le ministre fit observer que le conseil de préfecture de la Haute-Saône avait réellement prononcé une délimitation de concession, en décidant que la vente faite par la caisse d'amortissement à MM. d'Andelaw et Dolfus conférait à ces derniers le droit d'exploitation sur la moitié des deux territoires de Champagney et de Ronchamp. A la vérité, l'article 2 de cet arrêté semblait réserver aux pouvoirs compétents la délimitation à effectuer, mais l'effet de cette seconde disposition se trouvait détruit par la première, puisque celle-ci déterminait elle-même l'étendue de la concession. Or, aux termes de la loi du 21 avril 1810, le gouvernement seul a le droit de fixer les limites d'une concession, et cette fixation doit être faite dans les mêmes formes que celles qui sont prescrites pour l'institution des concessions nouvelles. Enfin, l'article 56 de cette loi porte que s'il s'élève des difficultés entre l'administration et les exploitants, relativement à la limitation des mines, elles seront décidées par l'acte de concession. Les anciens arrêts de 1763 et 1784, qui avaient accordé au chapitre de Lure et à MM. de Reynac et d'Andelaw la mine de houille de Ronchamp et Champagney, ne contenaient point une désignation précise de limites. Plus tard on n'avait point exécuté la loi de 1791, qui voulait que les propriétaires d'anciennes concessions les fissent délimiter par l'administration. La caisse d'amortissement, en transférant à MM. d'Andelaw, Dolfus et

compagnie la moitié qui lui appartenait dans la houillère, avait expressément spécifié qu'elle ne vendait cette propriété que telle qu'en avaient joui et avaient droit d'en jouir les précédents possesseurs, sans désignation de limites, et à la charge par les acquéreurs de se conformer aux dispositions de la loi du 21 avril 1810. Ainsi MM. d'Andelaw et compagnie, soit pour la moitié qu'ils possédaient de leur propre chef, soit pour celle qui leur avait été vendue par la caisse d'amortissement, n'étaient propriétaires que d'une ancienne concession non délimitée. Ils se trouvaient dans le cas prévu par l'article 53 de la loi du 21 avril 1810, qui énonce que relativement aux anciennes concessions pour lesquelles on n'a pas exécuté la loi de 1791, et dont on n'a pas fait fixer les limites, elles devront être délimitées sur la demande des exploitants ou à la diligence de l'administration. Le conseil de préfecture de la Haute-Saône ne devait donc point préjuger cette délimitation et l'opérer en quelque sorte, ainsi que le faisait l'article 1er de son arrêté. Par-là il commettait un excès de pouvoir, et agissait contrairement à la loi. Sa décision devait par conséquent être annulée, pour ensuite l'administration fixer les limites de la concession après une instruction régulière et suivant les titres des parties. Si l'on pensait que l'acte de vente fait par la caisse d'amortissement eût besoin d'être interprété, cette interprétation devait se renfermer dans les termes mêmes du contrat, et non les outrepasser en effectuant illégalement une espèce de délimitation anticipée de la mine.

Ces principes ont été consacrés par une ordonnance royale du 19 juillet 1826, rendue sur le rapport du comité du contentieux, et ainsi conçue :

Vu le rapport de notre ministre de l'intérieur, enregistré au secrétariat de notre conseil d'état, le 20 mai 1825, et tendant à l'annulation d'un arrêté du conseil de préfecture du département de la Haute-Saône, du 13 juin 1823, lequel déclare que l'adjudication passée aux sieurs d'Andelaw et Dolfus Mieg, le 4 juin 1812, de la moitié des houillères de Ronchamp et Champagney, a conféré auxdits acquéreurs le droit d'exploiter la mine dans la moitié de toute l'étendue des deux territoires de ces communes;

Vu l'arrêté attaqué;

Vu les requêtes en défense des sieurs Dolfus et con-

sorts, tendant au rejet du pourvoi formé par notredit ministre;

Vu le procès-verbal d'adjudication, du 4 juin 1812;

Vu les observations en réponse, de notre ministre de l'intérieur, enregistrées audit secrétariat général, le 2 mars 1826;

Ensemble toutes les pièces jointes au dossier;

Considérant que la moitié de la houillère dont il s'agit a été aliénée dans l'état où elle se trouvait lors de ladite vente, et telle qu'en avaient joui et avaient droit d'en jouir, sans en rien excepter, la caisse d'amortissement et ses précédents possesseurs, mais sans désignation de limites, et à la charge par l'acquéreur de se conformer aux dispositions de la loi du 21 avril 1810;

Considérant que le conseil de préfecture en assignant pour limites à l'exploitation de la moitié de ladite houillère le territoire entier des deux communes de Ronchamp et de Champagney, a puisé les moyens de son interprétation ailleurs que dans les actes qui ont consommé la vente, et par conséquent a excédé ses pouvoirs;

Qu'aux termes des articles 53 et 56 de la loi du 21 avril 1810, il n'appartient qu'à l'administration d'opérer la délimitation desdites mines, conformément à la déclaration qui va être faite des objets aliénés, ainsi qu'aux règles prescrites par lesdits articles de la loi sus-énoncée;

Notre conseil d'état entendu,

Nous avons ordonné et ordonnons ce qui suit:

Art. 1er. L'arrêté du conseil de préfecture du département de la Haute-Saône, du 13 juin 1823, est annulé.

Il est déclaré qu'il a été vendu aux sieurs Dolfus et consorts la moitié de la houillère de Champagney et de Ronchamp, telle qu'elle se comportait et devait se comporter, avec la faculté de jouir, pour l'exploitation de cette propriété, de toute l'étendue du territoire dont les précédents possesseurs, le chapitre de Lure, l'administration des domaines et la Légion-d'Honneur avaient droit de jouir, et à la charge d'exécuter la loi sur les mines, du 21 avril 1810.

Les sieurs Dolfus et consorts sont renvoyés devant l'administration des mines pour y faire reconnaître et déterminer l'étendue de leurs droits conformément à cette déclaration, ainsi qu'aux règles prescrites par les articles 53 et 56 de la loi du 21 avril 1810.

On a procédé ensuite, d'après cette décision, à la délimitation de la houillère de Ronchamp et Champagney, et une ordonnance royale, du 5 mai 1830 (1), a fixé définitivement les limites de cette ancienne concession.

Mines.

Toute interprétation à faire d'un acte de concession de mine, ou toute modification à y apporter, sont exclusivement du ressort de l'autorité administrative. Le gouvernement qui a institué la concession a seul le droit de prononcer.

Tout ce qui concerne l'exécution de traités qui ont été passés entre le titulaire de la concession et des tiers, soit avant, soit après l'institution de cette concession, est de la compétence des tribunaux ordinaires.

Les faits qui ont précédé la concession définitive des mines de houille de Roche-la-Molière et Firminy, accordée à M. le marquis d'Osmond par l'ordonnance royale du 29 octobre 1814, ont été rappelés dans un article inséré au XI[e] volume de la 3[e] série des *Annales*, pag. 611.

Postérieurement à cette ordonnance, des contestations se sont élevées entre MM. Baude et compagnie, représentants de M. le marquis d'Osmond, et les ayant-cause d'anciens associés que ce dernier s'était adjoints avant la révolution pour l'exploitation de ces mines. Ces derniers ont prétendu qu'ils devaient participer à la concession, en vertu de cette ancienne association.

L'ordonnance de 1814 n'avait porté comme titulaire

---

(1) Voir cette ordonnance, tome VIII des *Annales des mines*, 2[e] série, page 287.

que M. le marquis d'Osmond. Seulement il était dit dans l'article 6 qu'il justifierait, dans un délai de trois mois, de ses facultés pécuniaires par la représentation des extraits de rôles de ses impositions et de *celles de ses associés*. L'article 7, relatif à une des charges de la concession, disait aussi : *M. le marquis d'Osmond et ses associés.*

MM. Ling, Merlat et Barbier, représentants d'anciens associés de M. d'Osmond, soutenaient que, d'après les expressions de ces deux articles, ils se trouvaient compris dans la concession de 1814.

En conséquence, ils ont intenté une action contre MM. Baude et compagnie devant le tribunal civil de Saint-Etienne, puis devant la cour royale de Lyon.

La cour de Lyon, considérant que MM. Ling et consorts n'arguaient d'aucunes conventions privées, et se fondaient uniquement sur l'ordonnance de 1814, les a renvoyés à se pourvoir devant le conseil d'état pour y faire interpréter cette ordonnance.

Ce pourvoi a été formé; le conseil d'état a considéré que l'arrêt du conseil de 1786 a subrogé M. d'Osmond au lieu et place du duc de Charost dans la concession des mines dont il s'agit, sans faire mention d'aucun associé; que le décret de 1812, après avoir annulé pour cause d'incompétence un arrêté du préfet de la Loire, du 23 juillet 1810, qui avait désigné nominativement des associés de M. d'Osmond, et l'avait déclaré propriétaire desdites mines, pour en jouir conjointement avec ses associés, s'est borné à rejeter la demande et nullité de la concession, et à ordonner la délimitation de ces mines : que, par l'ordonnance du 19 octobre 1814, les oppositions contre ladite concession ont été rejetées, et M. d'Osmond déclaré propriétaire incommutable, en vertu des articles 7 et 51 de la loi du 21 avril 1810; que ladite ordonnance n'a fait mention d'associés du marquis d'Osmond que dans les articles 6 et 7, et seulement à propos des justifications de facultés pécuniaires à faire par lui, et de l'obligation de ne vendre qu'aux manufactures de Saint-Etienne la houille extraite dans un certain rayon; mais que cette même ordonnance n'a désigné particulièrement aucun associé du marquis d'Osmond, qu'ainsi elle a laissé entiers les droits des associés quelconques, tels que ces droits peuvent résulter d'actes

privés dont il appartient aux tribunaux de déterminer la nature et les effets. Par ces motifs, une ordonnance royale, du 11 février 1829, a décidé que celle du 29 octobre 1814 n'avait point statué sur les droits qui peuvent résulter des conventions privées entre le marquis d'Osmond et ses divers associés. Les parties ont été en conséquence renvoyées à cet égard devant les tribunaux ordinaires.

Cette décision, qui au premier abord semble opposée à celles qui ont été rapportées précédemment (*Voyez* le 8e volume des *Annales*, 3e série, pag. 585 et suiv.), et desquelles il résulte que c'est au gouvernement seul à prononcer si des tiers sont ou non compris parmi les titulaires d'une concession, vient au contraire à l'appui des mêmes principes. En effet, elle n'a pas appelé les tribunaux à juger si les réclamants devaient être reconnus concessionnaires avec le titulaire désigné ; elle ne leur donne pas la mission d'interpréter l'acte de concession ; nullement : elle interprète elle-même cet acte, elle déclare qu'il n'a point statué sur les droits qui peuvent provenir de conventions privées entre les parties, et ce sont seulement les effets de ces conventions, tels qu'ils pourront résulter de leur contexte, qu'elle remet à l'appréciation de l'autorité judiciaire.

L'ordonnance qui institue un concessionnaire laisse entiers les traités que celui-ci a pu faire avec des tiers. Les réclamations que ces derniers viennent à former, en vertu de ces traités, vis-à-vis du concessionnaire, sont de la compétence des tribunaux, car il s'agit uniquement d'apprécier les effets et la teneur d'un contrat. Dans ce cas les tribunaux n'ont point à décider que telles ou telles personnes sont comprises dans la concession, mais seulement si elles ont à revendiquer envers le concessionnaire, par suite de leurs précédentes conventions, une part dans l'entreprise. Il n'en est pas de même lorsque des tiers, ayant paru lors de l'instruction qui a précédé la concession, prétendent que c'est à tort, par erreur ou omission, qu'on ne les a pas désignés comme titulaires. Dans ce cas, il s'agit de savoir quelle a été l'intention du gouvernement, si c'est effectivement par erreur ou volontairement qu'il les a omis, et c'est à lui seul à le déclarer. Or, dans les affaires rapportées précédemment, les parties demandaient que l'ordonnance qui avait institué la concession fût rectifiée,

et qu'on les comprît parmi les titulaires de cette concession : c'était au gouvernement à statuer sur cette requête. Ici MM. Ling et consorts ne demandaient pas la rectification de l'ordonnance de 1814 ; seulement ils prétendaient que, par cela seul que le mot *associés* se trouvait dans les articles 6 et 7 de cette ordonnance, ils avaient des droits à la concession : c'était une interprétation à faire de l'ordonnance, et cette interprétation appartenait aussi au gouvernement. Il l'a faite en déclarant que l'ordonnance n'avait point statué sur les droits qui pouvaient résulter des conventions privées entre le marquis d'Osmond et ses associés Mais l'appréciation de ces conventions, s'il en existait de telles, était du ressort de l'autorité judiciaire, et c'est pourquoi les parties ont été renvoyées à cet égard devant les tribunaux.

Des diverses décisions citées jusqu'ici il résulte donc que le principe est toujours le même. Toute question qui concerne le sens à attribuer à un acte de concession, ou des modifications à introduire dans cet acte, est exclusivement du ressort de l'autorité dont cet acte est émané, c'est-à-dire du gouvernement. Toute question relative seulement à des traités faits entre la personne qui a obtenu la concession et des tiers, soit avant, soit après cette concession, est de la compétence des tribunaux ordinaires.

MINIÈRES DE FER.

1. *Lorsqu'un maître de forges veut obtenir la permission d'extraire du minerai de fer sur le terrain d'autrui, il doit adresser sa demande au préfet, et justifier en même temps qu'il l'a notifiée au propriétaire du sol.*

2. *C'est par lui, et non administrativement, que cette notification doit être faite.*

Le propriétaire a un mois pour faire connaître s'il veut exploiter lui-même.

Il faut en outre qu'il ait été entendu par l'administration ou mis par elle en demeure de se faire entendre avant que la permission puisse être délivrée.

3. *Si dans ces intervalles le propriétaire vend son terrain à un tiers, et que ce dernier déclare être dans l'intention d'exploiter, il n'y a pas lieu d'autoriser le maître de forges à opérer l'extraction ; mais l'acquéreur du terrain sera tenu de lui fournir du minerai, si l'usine est dans les conditions requises pour y avoir droit.*

Le propriétaire du terrain sur lequel il y a du minerai de fer d'alluvion est tenu, d'après l'article 59 de la loi du 21 avril 1810, d'exploiter pour les besoins des usines qui sont établies dans le voisinage avec autorisation légale. S'il n'exploite pas, les maîtres de forges peuvent obtenir la permission d'extraire à sa place, et la loi a indiqué les formalites qu'ils auraient, dans ce cas, à remplir.

Aux termes des articles 60 et 61, le maître de forges doit prévenir le propriétaire. Ce dernier a un mois, à compter de la notification, pour déclarer s'il veut exploiter lui-même. Ce n'est qu'après l'expiration de ce délai, que, s'il n'a pas déclaré son intention d'exploiter, et lorsqu'il a été entendu ou mis en demeure de se faire entendre, la permission peut être délivrée au maître de forges, sur l'avis des ingénieurs des mines.

Il est donc nécessaire, d'après ces dispositions, pour qu'il y ait lieu de la part de l'autorité à commencer l'instruction qui aura pour objet de permettre l'exploitation, qu'une demande du maître de forges existe, tendant à être mis à la place du propriétaire du terrain ; que ce même maître de forges ait justifié qu'il a notifié sa demande au propriétaire : c'est par lui, par acte extrajudiciaire, et non administrativement, que cette notification doit être faite. A partir du jour où elle a lieu, le propriétaire a un mois pour s'expliquer. Enfin, avant que l'on statue, il doit être entendu par l'administration, ou avoir été mis par elle en demeure de se faire entendre.

Chacune de ces formalités est de rigueur; car il s'agit de priver un propriétaire de la disposition du minerai que son terrain renferme, de permettre à un autre de venir exploiter à sa place sur son fonds. Si la loi a donné à l'administration, dans l'intérêt public, la faculté de déposséder ainsi de ses droits ce propriétaire, lorsqu'il refuse d'en user comme elle le lui prescrit, elle a voulu aussi, comme cela devait être, prendre toutes les précautions pour qu'il fût averti, et pour qu'il eût le temps de se déterminer et de faire connaître ses intentions. Enfin, elle ne lui interdit nullement de vendre son terrain à un tiers; et si ce dernier déclare qu'il veut exploiter lui-même, alors il n'y a plus lieu d'autoriser le maître de forges; car ce n'est que sur le refus du propriétaire, ou après un silence équivalant à un refus, que la loi permet de conférer à un tiers la faculté d'exploiter. Il n'en est pas de l'acquéreur du terrain, de celui qui a acheté la minière et le fonds qui la renferme, comme d'un simple cessionnaire du droit d'exploitation : le premier n'est pas seulement le représentant du propriétaire du terrain, il est devenu le propriétaire lui-même, il en a, par conséquent, tous les droits; et dès qu'il annonce qu'il veut effectuer l'extraction, c'est comme si le propriétaire primitif avait fait cette déclaration. De même que celui-ci, il sera tenu de fournir du minerai au maître de forges; ce dernier n'a donc plus à demander d'être mis à la place du propriétaire. Le but de la loi est rempli, puisqu'il y aura exploitation du minerai. Ce n'est qu'au cas où l'acquéreur du terrain ne tiendrait pas ses engagements, où il n'exploiterait pas en quantité suffisante, ou bien s'il suspendait les travaux d'extraction pendant plus d'un mois sans cause légitime, qu'alors le maître de forges pourrait se pourvoir auprès du préfet, conformément à l'article 62, pour obtenir la permission d'exploiter.

Ces principes ont reçu leur application de la manière suivante :

Le 16 août 1836, M. Dumont, propriétaire de l'usine de Ferrière-la-Grande, dans le département du Nord, a informé le préfet de ce département que le propriétaire d'un terrain à minerai, dans la commune de Monceau-Saint-Wast, M. Bertout, refusait de lui laisser continuer l'exploitation qu'il avait entreprise. Il demandait que l'on

enjoignît à M. Bertout d'extraire et de lui livrer le minerai, et qu'à cet effet les notifications lui fussent faites sans retard.

Le préfet a chargé le sous-préfet d'Avesne de faire connaître à M. Bertout qu'il eût à déclarer sous huit jours s'il voulait exploiter, à défaut de quoi son silence serait considéré comme un refus, et il serait donné suite à la demande de M. Dumont.

Le 15 septembre, M. Bertout a répondu qu'il n'avait fait aucun traité avec M. Dumont; qu'il n'avait pas, néanmoins, l'intention d'extraire lui même, et qu'il ne s'opposait pas à ce que l'exploitation fût faite par M. Dumont, mais qu'il désirait connaître l'indemnité qui lui serait payée.

Le 22 du même mois, MM. Pillion et Destombes sont devenus acquéreurs du terrain par un acte de vente authentique. Le 2 octobre suivant, ils ont écrit au préfet qu'ils étaient propriétaires au lieu et place de M. Bertout, et qu'ils se proposaient d'extraire le minerai pour l'approvisionnement des hauts-fourneaux qu'ils avaient demandé à établir.

M. le préfet a pensé que MM. Pillion et Destombes n'étant point encore alors possesseurs d'usines légalement autorisées, et n'annonçant l'intention d'extraire que pour leurs besoins futurs, il n'y avait point lieu d'accueillir leur déclaration. Il a pris, le 21 décembre 1836, un arrêté par lequel M. Dumont était autorisé à exploiter sur le terrain en question.

Cette décision était irrégulière dans la forme et au fond.

La lettre écrite au préfet le 16 août 1836 par M. Dumont n'était point une demande explicite pour obtenir l'autorisation d'exploiter à la place du propriétaire; elle annonçait simplement que ce propriétaire refusait de laisser continuer l'extraction, et on y demandait qu'une notification fût faite à ce dernier.

Cette notification aurait dû avoir lieu par le maître de forges lui-même, et par acte extrajudiciaire ; elle a été faite administrativement.

Le propriétaire du terrain avait un mois pour déclarer

s'il voulait exploiter lui-même ; on ne lui avait donné que huit jours.

Sa déclaration n'était que conditionnelle ; on l'avait regardée comme un refus de se livrer à l'extraction.

On aurait dû de nouveau, et dans tous les cas, l'appeler à se faire entendre, à s'expliquer ; cette formalité n'avait point été remplie.

Enfin, MM. Pillion et Destombes ayant fait connaître dans l'intervalle qu'ils étaient devenus propriétaires du terrain, et ayant annoncé leur intention d'exploiter, on ne devait point passer outre, et délivrer, nonobstant cette déclaration, la permission à un tiers. A la vérité, MM. Pillion et Destombes ne pouvaient, à cette époque, employer le minerai dans leurs usines, qui n'étaient point encore autorisées; mais en qualité de propriétaires du sol, ils avaient le droit d'exploiter en en obtenant la permission. Seulement ils se trouvaient obligés, comme l'aurait été leur vendeur s'il eût conservé sa propriété, de fournir aux besoins de l'usine de Ferrière-la-Grande, s'il était reconnu qu'elle fût dans le rayon de voisinage. C'est alors que, s'ils n'avaient pas extrait ou fourni en quantité suffisante du minerai à cette usine, M. Dumont aurait pu, après l'accomplissement des formalités prescrites par la loi, obtenir l'autorisation d'exploiter à leur place.

D'après ces considérations, sur le rapport du directeur général des ponts et chaussées et des mines, et conformément à l'avis du conseil général des mines, l'arrêté de M. le préfet du Nord, qui autorisait M. Dumont à exploiter, a été annulé le 31 juillet 1837, par décision du ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce.

Minières de fer.

1. *L'exploitation d'une minière ne peut avoir lieu sans permission.*
2. *Bien que le propriétaire du terrain ait cédé à un maître de forges la faculté d'extraire le minerai de fer que son terrain renferme, ce dernier*

n'en est pas moins tenu de se pourvoir d'une autorisation pour exploiter ; et tout autre propriétaire d'une usine du voisinage légalement établie, ayant besoin de ce même minerai, peut obtenir la permission d'y venir puiser. Dans ce cas, le préfet règle les portions qui devront être attribuées à chacun.

3. *Une usine qui manque d'une quantité de minerai dont le mélange est nécessaire à sa fabrication, doit être considérée comme se trouvant dans le cas prévu par l'article* 59 *de la loi du* 21 *avril* 1810, *où elle peut contraindre le propriétaire du terrain qui contient ce minerai à lui en fournir, encore bien qu'elle ait à sa disposition d'autres produits, mais d'une qualité différente.*

MM. Serret, Lelièvre et compagnie, propriétaires de l'usine de Denain, ont adressé, le 23 avril 1837, à M. le préfet du Nord, une demande pour obtenir l'autorisation d'exploiter du minerai sur un terrain qui appartient à la commune de Ferrière-la-Grande. Ils exposaient qu'ils avaient un besoin indispensable de ce minerai pour le mélanger avec ceux qu'ils traitent dans leurs forges.

M. Dumont, propriétaire du haut-fourneau de Ferrière-la-Grande, y a formé opposition. Il représentait qu'il avait le consentement de la commune pour exploiter sur ce terrain, et que d'autres minières étaient à la proximité de MM. Serret et Lelièvre.

Les ingénieurs ont fait connaître qu'ils avaient visité l'usine de Denain ; qu'en raison du mauvais état des chemins pendant la saison pluvieuse où l'on se trouvait alors, cet établissement ne pouvait pour le moment se procurer que sur la commune de Ferrière l'espèce de minerai dont il avait besoin pour le mélanger avec ceux qu'il possédait. Ils ont conclu à ce que la demande des propriétaires de cette usine fût accueillie après l'accomplissement des formalités prescrites par la loi.

Le préfet a partagé leur opinion. Il a pris, le 12 juin 1837, un arrêté portant que la demande de la compagnie de Denain et l'opposition de M. Dumont seraient notifiées

à la commune, pour être, par cette dernière, déclaré dans le mois, si elle entendait faire faire elle-même les extractions; et il a interdit à l'une et à l'autre des parties de se livrer à l'exploitation avant d'en avoir préalablement obtenu la permission.

Cet arrêté était conforme aux dispositions de la loi du 21 avril 1810, et à celles des arrêtés du ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce, des 12 et 30 juin 1837 (1). Le préfet a été invité, conformément à l'avis du conseil général des mines, à en maintenir l'exécution.

En effet, cette loi veut que l'on ne puisse exploiter une minière qu'en vertu d'une permission, que l'on soit ou non propriétaire du sol ou muni du consentement de ce dernier. Elle oblige le propriétaire ou son ayant-cause à faire une déclaration, et l'exploitation ne peut commencer qu'après qu'il a été donné par le préfet acte de cette déclaration, ce qui vaut permission.

D'un autre côté, le propriétaire, quoiqu'il ait cédé à un tiers la faculté d'exploiter sur son terrain, n'en est pas moins dans l'obligation de fournir à un autre maître de forges du voisinage, possesseur d'une usine légalement établie, du minerai, suivant la proportion qui aura été réglée par l'autorité, ou de le laisser exploiter sa quote-part. Ainsi que le porte l'arrêté du ministre, du 12 juin, la cession qu'il a faite n'a pu l'affranchir de la servitude qui est inhérente à sa propriété. Et si, parce que le cessionnaire est maître de forges, parce qu'il fait usage du minerai pour son propre compte, il pouvait évincer les autres propriétaires d'usines, une telle disposition serait contraire aux règles établies par la loi du 21 avril 1810, qui veut que toutes les forges du voisinage puissent participer aux produits des minières, selon leur position et leurs besoins; on voit, en effet, qu'il suffirait qu'un maître de forges traitât avec le propriétaire du sol pour priver les autres établissements du pays des ressources qui leur sont indispensables. Dans ces cas, lorsqu'il y a ainsi concurrence entre plusieurs maîtres de forges, c'est au préfet qu'il appartient de déterminer, d'après l'article 64 de la loi et l'arrêté du 30 juin, les proportions suivant lesquelles

(1) Voir ces arrêtés, pages 674 et 678 du XIe volume de la 3e série des *Annales des mines*.

chacun d'eux devra participer à l'extraction ou à l'achat du minerai, et de faire à chaque usine, suivant les circonstances locales, l'application de l'expression de *voisinage* employée par l'article 59 de cette loi.

Enfin, comme l'indique ce même arrêté, ce rayon de voisinage varie, diminue ou s'étend selon tous les accidents qui peuvent se rencontrer; et dès qu'une usine manque d'une certaine qualité de minerai qui lui est nécessaire pour sa fabrication, dès que, par son éloignement des autres lieux qui pourraient le lui procurer, ou par une cause fortuite, telle que le mauvais état des chemins, elle ne peut en obtenir que sur la minière où elle demande à venir puiser, elle se trouve dans le cas prévu par ce même article 59, et peut en invoquer le bénéfice. Peu importe qu'elle possède d'autres minerais, si elle elle n'a pas celui sans lequel sa fabrication ne pourrait s'opérer ou resterait imparfaite. C'est aux *besoins* des usines que la loi a voulu pourvoir, et une usine qui réclame un minerai indispensable pour donner au fer la bonne qualité qu'il doit avoir, a réellement *besoin* de ce minerai.

D'après les considérations qui précèdent, l'opposition de M. Dumont n'a pu être admise.

Minières de fer.

1. *Lorsque des particuliers se présentent, avec des pièces authentiques attestant leur mandat des propriétaires du sol pour extraire du minerai de fer sur un terrain, il doit leur être donné acte de cette déclaration, encore bien qu'ils ne se trouvent pas dans les conditions exigées pour employer ce minerai à leur propre usage.*

   Seulement ils sont tenus d'en fournir en quantité suffisante aux besoins des usines du voisinage légalement établies.

2. *Le propriétaire du sol a d'ailleurs un mois pour s'expliquer sur la sommation qui lui est faite par un*

maître de forges, et rien n'empêche que, dans cet intervalle, il cède à un tiers sa faculté d'exploiter.

3. *Le maître de forges ne peut être autorisé à extraire lui-même, que si l'exploitation n'a pas lieu, et que si le propriétaire du sol, auquel il conserve le droit de s'adresser, refuse de lui fournir le minerai ou de le lui faire livrer par ses cessionnaires.*

Depuis les arrêtés qui ont été rendus les 12 et 30 juin 1837, par M. le ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce, en matière de minières de fer, plusieurs espèces se sont présentées, qui ont donné lieu de faire l'application de ces dispositions. Nous en avons déjà rapporté quelques-unes. En voici une autre de la même nature.

Le 19 janvier 1837, MM. Pillion et Destombes, qui étaient alors en instance pour obtenir l'autorisation d'établir deux hauts-fourneaux dans l'arrondissement d'Avesnes, présentèrent à M. le préfet du Nord une déclaration pour obtenir la permission d'extraire du minerai de fer sur plusieurs terrains au sujet desquels ils avoient traité avec les propriétaires du sol.

M. Dumont, à qui appartient l'usine de Ferrière-la-Grande, a formé opposition. Il a représenté que ces minerais était nécessaires à ses approvisionnements; qu'il avait mis les propriétaires du sol en demeure de les lui fournir, conformément à l'article 60 de la loi du 21 avril 1810. Il demandait, en vertu du même article, la possession d'extraire à leur place.

Les propriétaires ayant déclaré avoir cédé leurs droits à MM. Pillion et Destombes, et ceux-ci justifiant de ces cessions par actes authentiques, y avait-il lieu de les autoriser à exploiter, et par suite de ne point accueillir la demande de M. Dumont?

Ou bien, au contraire, pouvait-on permettre à ce dernier de faire lui-même l'exploitation, par le motif que MM. Pillion et Destombes n'ayant point encore à cette époque dans la localité d'usine légalement établie, se trouvaient sans aucuns droits à l'usage du minerai?

Le préfet a adopté ce dernier parti, et, par un arrêté du 28 juin, il a accordé à M. Dumont la permission d'exploiter.

MM. Pillion et Destombes se sont pourvus contre cet arrêté.

Leur réclamation était fondée.

D'après les dispositions de la loi du 21 avril 1810 et de l'arrêté du ministre, du 12 juin 1837, les propriétaires de terrains sur lesquels il y a du minerai de fer ont la faculté de céder à des tiers leurs droits d'exploiter. Les cessionnaires peuvent présenter à leur place la déclaration prescrite par l'article 59; et si elle est appuyée de pièces authentiques attestant leur mandat, il doit leur en être donné acte. La permission vaut pour le propriétaire; ce dernier reste soumis à ses obligations; c'est contre lui que toute action doit continuer d'être dirigée; mais ses cessionnaires, comme étant en son nom, ont le droit d'exploiter. Peu importe qu'ils ne soient pas dans les conditions voulues pour être à même d'employer le minerai à leur propre usage : s'ils extraient en quantité suffisante, s'ils fournissent du minerai aux usines du voisinage légalement établies, qui en ont besoin, le but de la loi est rempli, ses dispositions reçoivent leur exécution. Il appartiendra ensuite au préfet de déterminer, sur l'avis de l'ingénieur des mines, lorsqu'ils se présenteront ultérieurement avec le titre qui leur aura permis d'établir une usine dans la localité, la part qui devra leur revenir dans leur exploitation, et celle pour laquelle les autres maîtres de forges du voisinage auront droit à l'achat du minerai.

Dans l'espèce, il y avait un des propriétaires du sol à l'égard duquel MM. Pillion et Destombes ne justifiaient point de leur cession. Leur déclaration pour ce propriétaire ne pouvait être admise.

Mais, pour les autres propriétaires, ils ont produit des conventions formelles et authentiques. Leurs demandes pour ces derniers terrains devaient donc être accueillies. M. Dumont n'aurait pu être autorisé à extraire ces minerais que si l'exploitation n'avait pas lieu, et si les propriétaires du sol, auxquels il conservait toujours le droit de s'adresser, eussent refusé de les lui fournir ou de les lui faire livrer par leurs cessionnaires. Or, ils n'avaient pas répondu par un refus aux sommations; ils avaient fait connaître qu'ils s'étaient engagés avec MM. Pillion et Des-

tombes, et qu'ils restaient néanmoins prêts à fournir du minerai à celui des maîtres de forges qui leur serait désigné par l'administration. Pour l'un d'entre eux, il est vrai, le traité avec la compagnie Pillion se trouvait antérieur à la sommation qui avait été faite par M. Dumont. Mais, aux termes de l'article 60 de la loi du 21 avril 1810, le propriétaire a un mois pour s'expliquer, et rien n'empêche que, dans cet intervalle, il ne confère à un tiers la faculté d'extraire à sa place.

D'après ces considérations, et par une décision du 18 novembre 1837 du ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce, rendue sur le rapport du directeur général des ponts et chaussées et des mines, et conformément à l'avis du conseil général des mines, l'arrêté de M. le préfet du Nord a été annulé, en ce qui concernait les terrains pour lesquels MM. Pillion et Destombes avaient justifié qu'ils étaient les cessionnaires des propriétaires du sol.

Marchand de fer. — Patente.

Lorsqu'un industriel, qui a dans ses magasins des marchandises en fonte, en livre au commerce, c'est à tort que le conseil de préfecture lui accorde décharge du droit de patente auquel il avait été imposé au rôle de la commune en qualité de marchand de fer en gros.

Ainsi décidé par ordonnance royale du 1er novembre 1837, rendue sur le rapport du comité de législation et de justice administrative (1).

Carrières.

1. *L'arrêt du conseil du 5 avril 1772, qui défend d'ouvrir aucune carrière à moins de trente toises*

(1) Voir cette ordonnance, ci-après, page 677.

des routes, est resté en vigueur depuis la loi du 21 avril 1810, et doit être appliqué, soit qu'il s'agisse de travaux souterrains ou de travaux à ciel ouvert, partout où il n'existe point de règlement particulier pour ces exploitations.

2. *L'infraction à la prohibition établie par cet arrêt, pour la conservation des grandes routes, est une contravention de grande voirie, et qui par conséquent est justiciable des conseils de préfecture.*

L'article 81 de la loi du 21 avril 1810 porte que les exploitations de carrières à ciel ouvert ont lieu sans qu'il soit besoin de permission, mais qu'elles sont sous la surveillance de la police, et que l'exploitant est tenu d'observer les lois ou règlements généraux ou locaux.

L'article 82 ajoute que, si les travaux s'exécutent par galeries souterraines, ils seront soumis à la surveillance spéciale de l'administration.

Il résulte de ces dispositions que cette loi n'a point abrogé les anciens règlements concernant les carrières, et que ces exploitations y sont soumises là où il n'a pas été établi de règlements nouveaux.

Un arrêt du conseil, du 5 avril 1772, a défendu d'ouvrir aucune carrière à moins de trente toises des routes, sans distinction des carrières souterraines ou à ciel ouvert : il doit être considéré comme étant toujours en vigueur, et doit être appliqué dans les localités où des dispositions particulières n'ont point déterminé une autre distance.

Les règlements spéciaux des 22 mars et 4 juillet 1813, sur les carrières de la Seine et de Seine-et-Oise, ont fixé cette distance à dix mètres pour les chemins à voitures, édifices et constructions quelconques, plus un mètre par mètre d'épaisseur de terres au-dessus de la masse à exploiter. Le même principe est établi dans la plupart des règlements particuliers qui ont été faits depuis pour d'autres localités; on a pensé qu'il était préférable, au lieu d'une détermination invariable, d'adopter une disposition qui pût se coordonner, dans chaque circonstance, avec ce qu'exigeraient les accidents des terrains, en fixant toutefois un minimum, qui dans aucun cas ne pourrait être dé-

passé. Mais partout où ces prescriptions n'existent point, c'est aux anciens règlements que l'on doit se référer.

En ce qui concerne la répression des contraventions, la loi du 21 avril 1810 porte, au titre X, que les infractions relatives aux mines seront poursuivies devant les tribunaux de police correctionnelle. Ce titre, qui est le dernier de la loi, qui en contient la sanction, s'applique à tous les objets qu'elle régit, aux usines, aux minières, aux carrières aussi bien qu'aux mines. Mais il ne met point obstacle à ce qu'il y ait un autre ordre de poursuites, une autre juridiction pour les cas qui, par leur nature, ne seraient pas de la compétence des tribunaux, qui seraient du ressort de l'autorité administrative La loi elle-même l'énonce formellement : l'article 50, titre V, dispose que si une exploitation compromet la sûreté publique, la conservation des puits, la solidité des travaux, la sûreté des ouvriers ou des habitations de la surface, il y sera pourvu par le préfet, ainsi qu'il est pratiqué en matière de grande voirie ; dans l'article 82, relatif aux carrières, elle renvoie aux dispositions de ce titre V.

Si donc il se commet dans l'exploitation d'une carrière une infraction de grande voirie, elle doit être constatée, poursuivie et réprimée par voie administrative.

C'est ainsi que dans la plupart des règlements on a explicitement établi cette distinction ; on y classe les contraventions suivant qu'elles sont des infractions de voirie simple et de police, justiciables des tribunaux, et suivant qu'elles sont des contraventions de grande voirie du ressort des conseils de préfecture. Les premières sont renvoyées à l'autorité judiciaire, pour être poursuivies et réprimées conformément à l'article 93 de la loi du 21 avril 1810, et aux articles 11 à 21 du Code d'instruction criminelle ; les secondes sont placées sous la juridiction de l'autorité administrative. Mais il n'est pas nécessaire qu'il existe dans une localité un règlement particulier qui contienne ces dispositions, pour qu'elles soient exécutées ; elles sont de droit, elles tiennent à la nature même des choses, à l'ensemble de nos lois ; elles dérivent notamment de la loi du 29 floréal an X, de la loi spéciale du 21 avril 1810, et des décrets des 18 août 1810 et 16 décembre 1811.

Les principes que nous venons d'exposer ont reçu leur application dans l'espèce suivante.

Un propriétaire de la commune de Sainte-Pazanne, M. Chatelier, avait ouvert sur son terrain une carrière à moins de trois mètres du bord de la route départementale n° 6, de Nantes à Bourganeuf, département de la Loire-Inférieure.

Procès-verbal fut dressé, et M. Chatelier traduit devant le tribunal de préfecture, comme ayant contrevenu à l'arrêt du 5 avril 1772.

Le conseil de préfecture s'est déclaré incompétent par ce motif, que la loi du 21 avril 1810, qui comprend les mines, minières et carrières, établit au titre X la juridiction des tribunaux pour les contraventions qui sont commises. Il lui a paru aussi qu'il n'y avait point, dans l'espèce, d'infraction, cette loi n'ayant point fixé de distance à observer pour les travaux des carrières.

Le ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce s'est pourvu au conseil d'état contre cet arrêté. Il a représenté que la loi du 21 avril 1810 n'avait pas abrogé l'arrêt du 5 avril 1772, qu'elle n'a point supprimé la servitude établie pour la solidité des routes, c'est-à-dire dans l'intérêt de la sûreté publique Si elle autorise l'exploitation des carrières à ciel ouvert sans permission et sous la surveillance de la police, c'est à charge par l'exploitant d'observer les lois et règlements généraux et locaux. Le sieur Chatelier n'a point observé l'arrêt de 1772, en ouvrant une carrière à une distance de trois mètres du bord de la route; il a donc commis une contravention dont les tribunaux de grande voirie doivent connaître, puisqu'il s'agit de l'infraction, non pas à un règlement sur la police proprement dite des mines et carrières, mais à un règlement sur la police des grandes routes.

Une ordonnance royale du 27 octobre 1837 a annulé l'arrêté du conseil de préfecture ci-dessus mentionné, et a renvoyé l'affaire devant le même conseil pour être statué au fond (1).

---

(1) Voir cette ordonnance, ci-après, page 676.

ORDONNANCES DU ROI,

ET DÉCISIONS DIVERSES,

Concernant les mines, usines, etc.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1837.

Usine à fer, commune de Montagnac-la-Crempse.

Ordonnance du 4 *juillet* 1837, *portant que* M. Despaques *est autorisé à remplacer, par une usine à fer, le moulin à blé dit* de la Poude, *qu'il possède sur le cours du ruisseau de la* Crempse, *dans la commune de* Montagnac-la-Crempse, *arrondissement de* Bergerac (Dordogne).

La consistance de cette usine est et demeure fixée conformément aux deux plans qui resteront annexés à ladite ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir :

Un haut-fourneau pour fondre le minerai de fer;
Un bocard pour les laitiers;
Un lavoir à bras pour le lavage du minerai;
Deux feux d'affinerie et un marteau.

Patouillet double, commune de Coupray.

Ordonnance du 4 *juillet* 1837, *portant que Son Altesse Royale Madame* Adélaïde d'Orléans *est autorisée à conserver et tenir en activité le patouillet double qu'elle possède sur la rivière d'*Auzon, *dans la commune de* Coupray (Haute-Marne).

Les articles 6 et suivants prescrivent l'établissement de bassins d'épuration, et l'article 17 porte qu'il est sursis à statuer sur les parties de la demande qui sont relatives, tant au patouillet placé à côté du moulin qu'aux la-

voirs à bras, jusqu'à ce que S. A. R. madame Adélaïde d'Orléans ait fait connaître les moyens qu'elle pourra employer pour l'épuration des eaux sortant des patouillet et lavoirs.

Ordonnance du 11 *juillet* 1837, *portant que* MM. Blanc et Ollet *sont autorisés à construire dans les communes de* Prunet et Belpuig (Pyrénées-Orientales), *sur la rivière du* Boulès, *et au lieu dit* Bouleton, *une usine à fer composée de :*

Usine à fer, commune de Prunet et Belpuig.

1° Un feu à la ca alane, avec sa machine soufflante ;

2° Un gros marteau du poids de 600 kilogrammes environ.

Ordonnance du 11 *juillet* 1837, *portant que la renonciation de* M. et Mme Lemeneur, *propriétaires de la mine de fer d'*Urville et de Gouvis (Calvados), *à la concession de cette mine, est acceptée.*

Mine de fer d'Urville et de Gouvis.

Ordonnance du 17 *juillet* 1837, *portant que* M. Crestin *est autorisé :*

Patouillet et lavoirs à bras, commune de Bouhans et Fuerg.

1° *A substituer à deux des six lavoirs à bras permissionnés par l'ordonnance royale du* 27 *août* 1823, *sur le cours d'eau de la* Sous-Froide, *commune de* Bouhans et Fuerg (Haute-Saône), *un patouillet mu par un manége à cheval ou par une roue hydraulique qui servira en même temps au mouvement d'un moulin ou d'une machine à battre le blé ;*

2° *A reporter à la suite du manége à cheval les quatre autres lavoirs à bras.*

Les articles 7 et suivants prescrivent l'établissement de bassins d'épuration.

Mines de fer de Chalencey.

Ordonnance du 17 *juillet* 1837, *portant qu'il est fait concession à la société* Schneider *frères et compagnie, constituée par acte du* 27 *décembre* 1836, *des mines de fer situées au lieu dit de* Chalencey, *dans la commune de* Couches (Saône-et-Loire).

(Extrait.)

Art. 2. Cette concession, qui prendra le nom de *concession de Chalencey*, est limitée, conformément au plan annexé à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir :

Au nord, par une ligne droite tirée de la tour principale de l'ancien château de Couches, au moulin à vent appartenant au sieur Chapelle;

A l'ouest, par une ligne droite tirée du moulin à vent à l'angle nord de la maison de M. Lazare Fiot, située à la Fosse et terminée au point M du plan, intersection de cette ligne avec la limite entre le territoire de Couches et celui de Saint-Jean-de-Tresy;

Au sud, par deux lignes droites, l'une partant de ce point M et se dirigeant vers le point E, l'une des bornes limites de la commune de Couches, avec celles de la commune de Saint-Jean-de-Tresy, mais se terminant au point N à son intersection avec la limite de ladite commune; l'autre tirée de ce point N au point A, autre borne de ladite commune;

A l'est, par deux lignes droites, l'une tirée de ce point A au point B, l'une des bornes limites de la commune, l'autre de ce point B au château de Couches, point de départ;

Lesdites limites renfermant une étendue superficielle de un kilomètre carré, soixante-cinq hectares.

Art. 4. Le droit attribué aux propriétaires de la surface, par l'article 6 de la loi du 21 avril 1810, sur le produit des mines concédées, est réglé : 1° conformément à l'ar-

ticle 42 de ladite loi, à une rente de 15 centimes par hectare, que les concessionnaires payeront annuellement aux propriétaires de tous les terrains compris dans la présente concession; 2° par application de la seconde disposition de l'art. 70 de la même loi, à une indemnité payable à la fin de chaque année aux propriétaires des terrains sur lesquels l'extraction aura lieu, à raison de 8 fr. par are, en proportion de l'étendue de l'excavation faite dans cette même année, pour en retirer du minerai, cette indemnité ne devant être payée qu'une seule fois pour la même portion de terrain.

Ces rétributions seront applicables toutes les fois qu'il n'existera pas à ce sujet de conventions antérieures entre les concessionnaires et les propriétaires de la surface. S'il existe de telles conventions, elles seront exécutées, pourvu toutefois qu'elles ne soient pas en opposition avec les règles qui seront prescrites, en vertu de la présente ordonnance, pour la conduite des travaux souterrains, dans la vue d'une bonne exploitation. Dans le cas contraire, lesdites conventions ne pourront donner lieu, entre les parties intéressées, qu'à une action en indemnité, et les rétributions resteront déterminées ainsi qu'il est dit au commencement du présent article.

Art. 8. La présente concession est faite sous toutes réserves des droits qui résultent, pour les propriétaires de la surface, des art. 59 et suivants, et de l'art. 69 de la loi du 21 avril 1810, tant à l'égard des minerais de fer dits d'*alluvion*, que relativement aux minerais en filons ou couches qui seraient situés près de la surface et susceptibles d'être exploités à ciel ouvert, pourvu que ce mode d'exploitation ne rende pas impossible l'exploitation ultérieure par travaux souterrains des minerais situés dans la profondeur.

Sont pareillement réservés tous les droits résultant pour les propriétaires de la surface, de l'art. 70 de la même loi, à raison des exploitations qui auraient été faites au profit de ces propriétaires, antérieurement à la concession.

En cas de contestation entre les propriétaires du sol et les concessionnaires sur la question de savoir si un gîte de minerai doit ou non être exploité à ciel ouvert, ou si ce genre d'exploitation déjà entrepris doit cesser, il sera statué par le préfet, sur le rapport des ingénieurs

des mines, les parties ayant été entendues, sauf le recours au ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce.

Cahier des charges de la concession des mines de fer de Chalencey (Saône-et-Loire).

(Extrait.)

Art. 9. Dans le cas où les travaux projetés par les concessionnaires devraient s'étendre sous des bâtiments et habitations, les travaux ne pourront être exécutés qu'en vertu d'une autorisation spéciale du préfet, donnée sur le rapport des ingénieurs des mines, après que le maire, le conseil municipal et les propriétaires intéressés auront été entendus, et après que les concessionnaires auront donné caution de payer l'indemnité exigée par l'art. 15 de la loi du 21 avril 1810. Les contestations relatives, soit à la caution, soit à l'indemnité, seront portées devant les tribunaux et cours, conformément audit article.

L'autorisation d'exécuter les travaux pourra être refusée par le préfet, s'il est reconnu que l'exploitation soit de nature à compromettre la sûreté du sol, celle des habitants ou la conservation des édifices.

Art. 17. En exécution de l'art. 70 de la loi du 21 avril 1810, ils fourniront aux usines du Creusot et à celle de Perreuil, qui s'approvisionnaient de minerai de fer antérieurement à l'octroi de la présente concession, sur les exploitations comprises dans ladite concession, la quantité de minerai nécessaire à l'alimentation de ces usines, au prix qui sera fixé par l'administration.

Art. 18. Lorsque les approvisionnements des usines ci-dessus désignées auront été assurés, les concessionnaires seront tenus de fournir, autant que leurs exploitations le permettront, à la consommation des usines établies ou à établir dans le voisinage avec autorisation légale. Le prix des minerais sera alors fixé de gré à gré ou à dire d'experts, ainsi qu'il est indiqué à l'article 65 de la loi du 21 avril 1810 pour les exploitations de minières de fer.

Art. 19. En cas de contestation entre plusieurs maîtres de forges relativement à leur approvisionnement en mine-

rai, il sera statué par le préfet, conformément à l'art. 64 de la même loi.

Art. 32. Si des gîtes de minerais étrangers au fer sont exploités légalement par les propriétaires du sol dans l'étendue de la concession de Chalencey, ou deviennent l'objet d'une concession particulière accordée à des tiers, les concessionnaires des mines de Chalencey seront tenus de souffrir les travaux que l'administration reconnaîtrait utiles à l'exploitation desdits minerais, et même, si cela est nécessaire, le passage dans leurs propres travaux ; le tout, s'il y a lieu, moyennant indemnité qui sera, selon les cas, réglée de gré à gré ou à dire d'experts, ou renvoyée au jugement du conseil de préfecture, en exécution de l'art. 46 de la loi du 21 avril 1810.

Art. 33. Les concessionnaires ne pourront établir des usines pour la préparation mécanique ou le traitement métallurgique des produits de leurs usines, qu'après avoir obtenu une permission à cet effet, dans les formes déterminées par les art. 73 et suivants de la loi du 21 avril 1810.

Mines de houille de Bert.

Ordonnance du 19 *août* 1837, *qui accepte le désistement du pourvoi formé par les concessionnaires des mines de* Bert, *contre des arrêtés du conseil de préfecture de l'*Allier, *relatifs aux indemnités dues pour les recherches et travaux exécutés antérieurement à la concession.*

Usine à fer, commune de Châtillon.

Ordonnance du 22 *août* 1837, *portant que* MM. Blondeau *frères sont autorisés à remplacer par une usine à fer, le moulin à blé qu'ils possèdent sur la rivière de l'*Indre, *au lieu dit de* Lamps, *commune de* Chatillon (Indre).

La consistance de cette usine est et demeure fixée ainsi qu'il suit, savoir :

Un haut-fourneau pour fondre le minerai de fer ;

Deux feux d'affinerie ;
Une fonderie ;
Un feu de martinet ;
Et les souffleries et machines à comprimer nécessaires.

Haut-fourneau à Abainville.

Ordonnance du 22 *août* 1837, *portant que* M. Muel-Doublat *est autorisé à établir un deuxième haut-fourneau destiné à la fusion des minerais de fer dans les usines qu'il possède dans la commune d'*Abainville, *arrondissement de* Commercy (Meuse).

Haut-fourneau et patouillet, commune d'Orges.

Ordonnance du 22 *août* 1837, *portant que madame veuve* Lebon-Bordet *est autorisée à établir, sur le cours des fontaines d'*Orges, *dans la commune d'*Orges (Haute-Marne): 1° *un haut-fourneau pour la fusion des minerais de fer en remplacement de la forge autorisée par l'ordonnance royale du* 14 *mai* 1826 ; 2° *un patouillet pour la préparation de ces minerais.*

Les art. 3 et suivants prescrivent l'établissement d'un bassin d'épuration.

Lavoirs à cheval, à la Chapelle-Saint-Quillain.

Ordonnance du 22 *août* 1837, *portant que* M. Joseph Gauthier *est autorisé à établir deux lavoirs à cheval, pour le lavage du minerai de fer, alimentés par les eaux du ruisseau du* Morbier, *commune de la* Chapelle-Saint-Quillain (Haute-Saône), *à l'endroit où il possède déjà les deux lavoirs à bras autorisés par l'ordonnance royale du* 25 *juin* 1828.

Les art. 6 et suivants prescrivent l'établissement de bassins d'épuration.

Ordonnance du 22 août 1837, portant que M. Le Bachellé *est autorisé : 1° à conserver et tenir en activité l'ancien bocard à cinq pilons et l'ancien patouillet à une huche, ainsi que le nouveau bocard à dix pilons et le nouveau patouillet à deux huches qui dépendent des usines qu'il possède sur la rivière de* Blaise, *dans la commune de* Dommartin-le-Franc, *arrondissement de* Vassy (Haute-Marne); *2° à établir, dans l'enceinte de ces usines, un troisième haut-fourneau pour la fusion du minerai de fer.* **Bocards, patouillets, haut-fourneau, à Dommartin-le-Franc.**

Les art. 8 et suivants prescrivent l'établissement de bassins d'épuration.

Ordonnance du 22 août 1837, portant que MM. d'Andlaw, Dolfus-Mieg *et compagnie sont autorisés à établir, dans la commune de* Ronchamp, *arrondissement de* Lure (Haute-Saône), *une usine à fer, dont la consistance est déterminée ainsi qu'il suit :* **Usine à fer, commune de Ronchamp.**

Deux hauts-fourneaux pour la fusion du minerai de fer;
Quatre feux d'affinerie pour la conversion de la fonte en fer;
Huit fours à pudler;
Quatre fours à réchauffer;
Deux fours à réchauffer la tôle;
Et les divers appareils de compression et autres, destinés au travail mécanique du fer.

Ordonnance du 29 août 1837, portant qu'il est fait concession à M. Durand-Mouline *aîné et compagnie, des mines de fer sulfuré propres à la fabrication de la couperose, qui existent sur les territoires des communes de* Flaviac et de Caux, *canton de la* Voulte (Ardèche). **Mines de fer sulfuré de Flaviac.**

(Extrait.)

Art. 2. Cette concession, qui prendra le nom de *concession de Flaviac*, est limitée, conformément au plan annexé à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir :

Au nord, à partir du pont de Mezagou, sur lequel passe la route royale du Pouzin à Privas, par trois lignes droites menées à Lagrange, à Maleval et à la Champ;

A l'est, par une ligne droite de la Champ à Charderie ;

Au sud, à partir de Charderie par cinq lignes droites menées à Sargiraud-le-Bas, Cheylus, la Chamée, la Charrière et l'ancien pont de Caux, sur la rivière d'Ouvèze ;

A l'ouest, à partir de l'ancien pont de Caux, et remontant la rive gauche des rivières d'Ouvèze et de Mezagou, jusqu'au pont de Mezagou, point de départ ;

Lesdites limites renfermant une surface de 4 kilomètres carrés, 27 hectares.

Art. 3. (*Comme à l'art.* 8 *de l'ordonnance relative à la mine de fer de Chalencey, citée plus haut.*)

Cahier des charges de la concession des mines de fer sulfuré de Flaviac (Ardèche).

(Extrait.)

Art. 24. (*Comme à l'art.* 32 *du cahier des charges de la concession de Chalencey, citée plus haut.*)

Art. 25. (*Comme à l'art.* 33, *idem.*)

Fabrique de magmats, à Jussy.

Ordonnance du 5 *septembre* 1837, *portant que* M. Tardieu *est autorisé à établir une fabrique de magmats* (1) *au lieu dit le* Petit-Marais, *dans la commune de* Jussy (Aisne).

L'usine sera composée de trois chaudières pour la concentration et l'evaporation des eaux, et des divers lessi-

(1) Sulfate de fer et sulfate d'alumine mélangés.

voirs et récipients qui seront nécessaires à la fabrication.

L'art. 3 porte que, conformément à sa demande, le permissionnaire consommera de la houille ou de la tourbe dans son usine.

Ordonnance du 5 septembre **1837**, *portant que* MM. DUMORA et GIGNOUX *sont autorisés à établir un haut-fourneau pour la fusion du minerai de fer, près du moulin appelé le* PONNEAU, *situé sur le ruisseau de la* CANNEAU, *commune de* BIGANOS (Gironde). **Haut-fourneau, commune de Biganos.**

Ordonnance du 11 *septembre* 1837, *portant que* M. Jean-Léon DEMIMUID *est autorisé*: 1° *à ajouter aux forges d'*HAIROUVILLE (Meuse), *dont il est propriétaire*, Forges d'Hairouville.

Un second haut-fourneau adossé au fourneau actuellement existant ;

Deux fours à pudler, marchant exclusivement à la houille ;

2° *A établir le marteau à cingler sur l'arbre de l'ancien martinet, et à transporter ledit martinet dans un clos situé sur la rive gauche du canal inférieur des fourneaux et bocards.*

Ordonnance du 11 *septembre* 1837, *portant que* M. MÉNANS *est autorisé à établir un lavoir à cheval ou à machine à vapeur, pour le lavage du minerai de fer, dans sa propriété, au lieu dit le* PRÉ PONCELIN, *commune de la* RÉSIE-SAINT-MARTIN, *arrondissement de* GRAY (Haute-Saône). Lavoir à cheval, commune de la Résie-St-Martin.

Cette autorisation n'est accordée que sous la réserve des

droits réclamés par des tiers, en ce qui concerne l'usage des eaux, sur lesquels il sera statué, s'il y a lieu, par les tribunaux.

Dans le cas où le permissionnaire se déciderait à employer une machine à vapeur pour faire mouvoir son usine, il ne pourra l'établir qu'après l'avoir soumise aux vérifications prescrites par les règlements relatifs à ces machines.

L'article 4 porte que le pourtour de la propriété du permissionnaire, formé par les rues ou les chemins du village, sera fermé par une haie ou toute haute clôture.

Les art. 5 et suivants sont relatifs à l'établissement de bassins d'épuration.

Martinet, bocard et patouillet, communes de Brousseval et de Vassy.

Ordonnance du 26 *septembre* 1837, *portant que* M. Renard-Couvreux *est autorisé à établir un martinet avec son feu pour la fabrication d'objets de grosse quincaillerie; un bocard et un patouillet pour la préparation du minerai de fer, sur le canal de décharge de la fontaine du* Donjon, *dans le clos de ce nom, communes de* Brousseval *et de* Vassy (Haute-Marne).

Les art. 9 et suivants sont relatifs à l'établissement de bassins d'épuration.

Mines. — Indemnités dues aux propriétaires du sol.

Arrêté du ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce, du 7 *octobre* 1837, *concernant les indemnités dues aux propriétaires du sol pour recherches de mines ou travaux d'exploitation, et les occupations de terrains par des concessionnaires de mines.*

Le ministre secrétaire d'état des travaux publics, de l'agriculture et du commerce,

Sur le rapport du conseiller d'état, directeur général des ponts-et-chaussées et des mines, relatif à l'exécution des art. 10, 43 et 44 de la loi du 21 avril 1810, en ce qui concerne le règlement des indemnités dues aux proprié-

taires du sol par les explorateurs ou concessionnaires de mines pour les travaux de recherches ou d'exploitation, et les mises en possession de terrains enclavés dans une concession et nécessaires à un travail d'art, soit passager, soit permanent ; ledit rapport tendant à modifier, comme ayant fait une interprétation inexacte des dispositions de la loi du 21 avril 1810, la partie de l'instruction ministérielle du 3 août 1810, où il est question de ces articles ;

Vu la section B, § 1er, de cette instruction, ainsi conçue :

« Toutes discussions relatives à la disposition des mines, » minières, usines et carrières, toutes celles ayant pour » objet l'acquittement des indemnités déterminées par le » décret de concession ou de permission, ainsi que les » contestations sur les dédommagements pour dégâts oc- » casionnés à la surface des terrains, sont du ressort des » tribunaux ordinaires. »

Vu les art. 10, 43 et 44 de la loi du 21 avril 1810, portant :

Art. 10. « Nul ne peut faire des recherches pour dé- » couvrir des mines, enfoncer des sondes ou tarières sur » un terrain qui ne lui appartient pas, que du consen- » tement du propriétaire de la surface ou avec l'autorisa- » tion du gouvernement, donnée après avoir consulté » l'administration des mines, à la charge d'une préalable » indemnité envers le propriétaire et après qu'il aura été » entendu. »

Art. 43. « Les propriétaires de mines sont tenus de » payer les indemnités dues au propriétaire de la surface » sur le terrain duquel ils établiront leurs travaux.

» Si les travaux entrepris par les explorateurs ou par » les propriétaires de mines ne sont que passagers, et si le » sol où ils ont été faits peut être mis en culture au » bout d'un an comme il l'était auparavant, l'indemnité » sera réglée au double de ce qu'aurait produit net le ter- » rain endommagé. »

Art. 44. « Lorsque l'occupation des terrains pour la » recherche où les travaux des mines prive les proprié- » taires du sol de la jouissance du revenu au de à du temps » d'une année, ou lorsqu'après les travaux les terrains ne » sont plus propres à la culture, on peut exiger des pro- » priétaires des mines l'acquisition des terrains à l'usage de

» l'exploitation. Si le propriétaire de la surface le re-
» quiert, les pièces de terre trop endommagées ou dégra-
» dées sur une trop grande partie de leur surface de-
» vront être achetées en totalité par le propriétaire de la
» mine.

» L'évaluation du prix sera faite, quant au mode, sui-
» vant les règles établies par la loi du 16 septembre 1807,
» sur le desséchement des marais, etc., titre XI; mais
» le terrain à acquérir sera toujours estimé au double de
» la valeur qu'il avait avant l'exploitation de la mine. »

Vu les lois des 28 pluviôse an VIII, 16 septembre 1807, 8 mars 1810 et 7 juillet 1833;

Vu l'avis du conseil général des mines, du 21 août 1837;

Considérant que les dispositions précitées de la loi du 21 avril 1810 sont corrélatives entre elles, que le règlement des indemnités dues aux propriétaires du sol par les explorateurs ou concessionnaires de mines pour travaux de recherches ou d'exploitation et les mises en possession de terrains pour travaux d'art, doivent, aux termes de ces dispositions, être faits dans les formes prescrites par le titre XI de la loi du 16 septembre 1807;

Que les modifications apportées à la loi du 16 septembre 1807, par les lois des 8 mars 1810 et 7 juillet 1833, n'ont point dessaisi les conseils de préfecture de la connaissance des questions d'indemnités ou d'occupations de terrains en matière de mines, que la loi du 21 avril 1810 leur a attribuée;

Qu'en effet la loi du 8 mars 1810 n'a eu pour but que de régler ce qui concerne les expropriations pour cause d'utilité publique; qu'elle ne s'applique point aux cas où des propriétaires se trouvent seulement obligés de souffrir l'occupation de leurs terrains, et peuvent toujours, s'ils le veulent, en conserver la propriété; que ces derniers cas ont continué d'être régis, selon leur nature, soit par la loi de 16 septembre 1807, soit par celle du 28 pluviôse an VIII; et que, d'autre part, la loi du 7 juillet 1833 n'a fait que tracer de nouvelles règles de procédure pour les matières que régissait la loi du 8 mars 1810, et qu'elle n'a point changé la juridiction;

Considérant qu'en fait de mines il n'y a jamais *expropriation* du sol, mais simplement occupation de terrain; que si, dans les circonstances prévues par l'art. 44 de la

loi du 21 avril 1810, la propriété du terrain peut passer entre les mains du concessionnaire de la mine, ce n'est pas, comme dans les cas déterminés par les lois des 8 mars 1810 et 7 juillet 1833, par une expropriation du propriétaire et contre son gré, mais au contraire par la volonté de celui-ci, parce qu'il le requiert;

Que par conséquent la loi du 16 septembre 1807 est restée applicable à tout ce qui concerne les règlements d'indemnités dues par les explorateurs ou concessionnaires de mines aux propriétaires sur les terrains desquels ils portent leurs travaux, et les occupations de ces terrains par des concessionnaires;

Qu'ainsi c'est aux conseils de préfecture qu'il appartient de régler les indemnités qui peuvent être dues à un propriétaire du sol, en exécution des art. 10 et 43 de la loi du 21 avril 1810, par un explorateur de mines qui a obtenu du gouvernement la faculté d'étendre ses recherches sur des terrains de ce propriétaire, ou par un concessionnaire dont la concession englobe ces terrains et qui y entreprend des travaux;

Que c'est pareillement aux conseils de préfecture, en exécution de l'art. 44 de la même loi, que doit s'adresser un concessionnaire de mines, pour être mis en possession d'un terrain compris dans le périmètre de sa concession, et nécessaire pour un travail d'art, soit passager, soit permanent;

Arrête ce qui suit:

Les dispositions de la section B, § 1er, de l'instruction ministérielle du 3 août 1810, sont rapportées en ce qui concerne l'exécution des art. 10, 43 et 44 de la loi du 21 avril 1810, comme ayant fait à cet égard une fausse interprétation de cette loi.

Paris, le 7 octobre 1837.

Signé N. MARTIN (DU NORD).

Ordonnance du 16 *octobre* 1837, *portant que* M. Joseph-Bernard VIRY *est autorisé à établir, sur le ruisseau de* BEZERNE, *commune de* COU-

Haut-fourneau et bocard, Cousances.

sances, arrondissement de Bar-le-Duc (Meuse), *u n haut-fourneau et un bocard à mines, pour la fabrication de la fonte moulée.*

Contravention en matière d'exploitation de carrière.

Ordonnance du 27 octobre 1837, portant annulation de l'arrêté du conseil de préfecture de la Loire-Inférieure, *du 1er avril même année, relatif à une contravention en matière d'exploitation de carrière dans le voisinage d'une grande route.*

Louis-Philippe, roi des Français,

Sur le rapport du comité de législation et de justice administrative,

Vu le rapport à nous présenté par notre ministre des travaux publics, ledit rapport enregistré au secrétariat général de notre conseil d'état, le 10 mai 1837, et tendant à ce qu'il nous plaise annuler un arrêté en date du 1er avril précédent, par lequel le conseil de préfecture de la Loire-Inférieure s'est déclaré incompétent pour statuer sur une contravention reprochée au sieur Chatelier, et résultant de l'ouverture d'une carrière à moins de trois mètres de la route départementale, n° 6, de Nantes à Bourgneuf; ce faisant renvoyer ledit sieur Chatelier devant ledit conseil, pour y être statué au fond sur la contravention reprochée à ce propriétaire;

Vu l'arrêté attaqué;

Vu la lettre du préfet de la Loire-Inférieure, de laquelle il résulte que le sieur Chatelier a été officiellement averti du recours formé par notre ministre des travaux publics;

Vu le procès-verbal dressé contre le sieur Chatelier le 15 juillet 1836;

Vu toutes les pièces produites;

Vu l'arrêt du conseil du 5 avril 1772, la loi du 29 floréal an X, et celle du 21 avril 1810;

Ouï M. Marchand, maître des requêtes, remplissant les fonctions du ministère public;

Considérant que la loi du 21 avril 1810 n'a point abrogé les dispositions de l'arrêt du conseil du 5 avril 1772;

qu'au contraire ladite loi n'a permis l'exploitation des carrières à ciel ouvert sans autorisation préalable, qu'à la charge, par les exploitants, d'observer les règlements généraux et locaux, et que l'infraction aux dispositions de l'arrêt précité, reprochée au sieur Chatelier, par le procès-verbal du 15 juillet 1836, constituait une contravention de grande voirie, sur laquelle il appartenait au conseil de préfecture de statuer;

Notre conseil d'état entendu,

Nous avons ordonné et ordonnons ce qui suit :

Art. 1er. L'arrêté du conseil de préfecture du département de la Loire-Inférieure, en date du 1er avril 1837, est annulé.

Art. 2. Le sieur Chatelier est renvoyé devant le même conseil de préfecture, pour y voir statuer au fond sur le procès-verbal du 15 juillet 1836.

Art. 3. Notre garde des sceaux, ministre de la justice et des cultes, et notre ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution de la présente ordonnance.

Ordonnance du 1er *novembre* 1837, *portant annulation de l'arrêté du conseil de préfecture de la* Charente, *qui avait accordé à tort décharge du droit de patente à un marchand de fer en gros.*

Marchand de fer en gros. — **Patente.**

Louis-Philippe, roi des Français,

Sur le rapport du comité de législation et de justice administrative,

Vu le rapport à nous présenté par notre ministre des finances, ledit rapport enregistré au secrétariat général du conseil d'état, le 28 mars 1836, et tendant à ce qu'il nous plaise annuler un arrêté du conseil de préfecture de la Charente, du 28 décembre 1835, qui a accordé au sieur Hazard-Flamand décharge du droit de patente, auquel il avait été imposé, pour ladite année, au rôle des patentes de la commune de Combiers, en qualité de marchand de fer en gros;

Vu l'arrêté attaqué;

Vu l'avis du maire et des répartiteurs, en date du 6 mars 1835; ensemble les rapports des agents des contributions directes;

Vu le certificat délivré par le maire de la commune de Combiers au sieur Hazard-Flamand; ledit certificat en date du 22 décembre 1835;

Vu le mémoire en défense produit par le sieur Hazard-Flamand;

Vu la loi du 1er brumaire an VII.

Ouï M. Germain, maître des requêtes, remplissant les fonctions du ministère public;

Considérant qu'il résulte de l'instruction et de l'aveu même du sieur Hazard-Flamand, que dans le courant de l'année 1835 il a vendu une partie de marchandises en fonte qui étaient dans ses magasins; que dès lors c'est à tort que le conseil de préfecture du département de la Charente lui a accordé décharge du droit de patente auquel il avait été imposé au rôle de la commune de Combiers en qualité de marchand de fer en gros;

Notre conseil d'état entendu,

Nous avons ordonné et ordonnons ce qui suit :

Art. 1er L'arrêté sus-visé du conseil de préfecture du département de la Charente, du 28 décembre 1835, est annulé.

Art. 2. Notre garde des sceaux, ministre de la justice et des cultes, et notre ministre des finances, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution de la présente ordonnance.

Usine à fer, commune d'Archiac.

Ordonnance du 28 *novembre* 1837, *portant que* M. Deltheil *est autorisé à conserver et tenir en activité l'usine à fer appelée* des Ans, *située sur le ruisseau de* Coly, *commune d'*Archiac, *arrondissement de* Sarlat (Dordogne).

La consistance de cette usine est et demeure fixée ainsi qu'il suit, savoir :

1° Un haut-fourneau pour la fusion du minerai de fer;

2° Un feu d'affinerie et un marteau.

Ordonnance du 28 novembre 1837, portant que madame DE ROCHECHOUART, *née* Élizabeth OUVRARD, *est autorisée à ajouter un feu d'affinerie à l'usine à fer appelée* DU CROS, *qu'elle possède dans la commune de* JUMILHAC, *arrondissement de* NONTRON (Dordogne).

Usine à fer, commune de Jumilhac.

Ordonnance du 28 novembre 1837, relative à des recherches de mines de plomb, dans la commune D'URCIERS (Indre).

Recherches de mines de plomb, à Urciers.

LOUIS-PHILIPPE, etc.,

Sur le rapport de notre ministre secrétaire d'état des travaux publics, de l'agriculture et du commerce ;

Vu les demandes formées le 24 juin 1836, par MM. Tourrangin et compagnie, et le 26 du même mois par MM. Luzarche et Grenouillet, tendant à obtenir l'autorisation de faire des recherches de mines de plomb dans des terrains qui appartiennent à la commune d'Urciers, département de l'Indre ;

La délibération du 18 juillet 1836, du conseil municipal d'Urciers, qui accepte les offres de MM. Luzarche et Grenouillet et refuse son consentement à MM. Tourrangin ;

La réclamation de MM. Tourrangin, du 1er août 1836, et les observations en réponse de MM. Luzarche et Grenouillet, du 4 du même mois ;

Le rapport, du 19 août, de l'ingénieur en chef des mines ;

L'arrêté du préfet de l'Indre, du 22 dudit mois ;

Les nouvelles demandes de MM. Tourrangin, des 6, 19 et 26 janvier 1837 ;

La lettre du maire d'Urciers, du 19 janvier ;

Le rapport de l'ingénieur ordinaire des mines, du 10 février, et l'avis de l'ingénieur en chef, du 14 mars ;

L'arrêté du préfet, du 22 mars ;

L'avis du conseil général des mines, du 10 juillet 1837 ;

La lettre de notre ministre secrétaire d'état de l'intérieur, du 31 octobre ;

Vu les articles 10, 43 et 44 de la loi du 21 avril 1810 ;

Nous avons ordonné et ordonnons ce qui suit :

Art. 1[er]. MM. Tourrangin et compagnie sont autorisés à faire, conjointement avec MM. Luzarche et Grenouillet, des recherches de mines de plomb sur les terrains communaux d'Urciers, département de l'Indre.

Art. 2. Les portions de terrains sur lesquelles chacune des deux compagnies devra circonscrire ses exploitations, seront déterminées par le préfet, sur le rapport des ingénieurs des mines, après un examen circonstancié des lieux. Le rapport indiquera les diverses circonstances relatives au gisement du minerai dans le sein de la terre; il sera accompagné d'un plan sur lequel seront tracés les points où des recherches ont déjà eu lieu, et la délimitation de chacune des portions dans laquelle chaque compagnie sera tenue de se renfermer.

Art. 3. Les indemnités qui seront dues à la commune, à raison de la surface du terrain fouillé, seront évaluées, quant au mode, suivant les règles établies par la loi du 16 septembre 1807, en se conformant à ce qui est prescrit par l'art. 43 de la loi du 21 avril 1810.

Art. 4. Il est expressément défendu aux deux compagnies de se livrer à des travaux d'exploitation.

Art. 5. Conformément à l'art. 11 de la loi du 21 avril 1810, elles ne pourront, sans le consentement des propriétaires, faire des sondes, établir des machines ou magasins, à moins de 100 mètres des habitations ou des clôtures murées.

Art. 6. Elles se conformeront aux instructions qui pourront leur être données par l'administration pour la direction des travaux et la sûreté des ouvriers.

Art. 7. En cas d'inexécution des conditions ci-dessus prescrites, les recherches seront interdites à celle des deux compagnies qui aura commis les contraventions.

Art. 8. La durée des recherches est fixée, pour l'une et l'autre compagnie, à une année, à compter du jour de la notification qui lui aura été faite de la présente ordonnance, sauf prorogation, s'il y a lieu.

Art 9. Notre ministre secrétaire d'état des travaux publics, de l'agriculture et du commerce, est chargé de l'exécution de la présente ordonnance.

Ordonnance du 12 *décembre* 1837, *portant que* M. Bazile Poussy *est autorisé à conserver en activité la forge composée d'un foyer d'affinerie et d'un marteau, qu'il possède sur la rivière de l'*Aubette, *dans la commune de* Lignerolles, *arrondissement de* Chatillon (Côte-d'Or). **Forge, à Lignerolles.**

Ordonnance du 12 *décembre* 1837, *portant que* MM. Laugère *frères sont autorisés à établir une usine à fer à* Angoulême, *faubourg de* Lhoumeau (Charente), *sur le ruisseau de la* Vimière, *alimenté par la fontaine de* Saint-Roch. **Usine à fer, à Angoulême.**

Cette usine est composée :

1° D'un haut-fourneau à fondre le minerai de fer;

2° De trois cubilots ou fourneaux à la Wilkinson;

3° D'une machine soufflante;

4° D'un lavoir à minerai;

5° D'un bocard à mine et à laitier;

6° Des fourneaux à coke et des ateliers nécessaires à la fonderie.

Ordonnance du 15 *décembre* 1837, *portant que* MM. Capitain *et* Pyonnier *sont autorisés à établir dans l'enceinte de l'usine qu'ils possèdent sur la* Marne, *au lieu dit* Bussy, *dans la commune de* Vecqueville (Haute-Marne), *un second haut-fourneau destiné à la réduction du minerai de fer.* **Haut-fourneau, à Vecqueville.**

Ordonnance du 12 *décembre* 1837, *portant que* MM. Pillion, Destombes *et compagnie sont autorisés à établir dans la commune de* Saint-Remy-Mal-Bati (Nord), *une usine à fer qui sera composée :* **Usine à fer, à Saint-Remy-Mal-Bâti.**

1° De deux hauts-fourneaux;

2° De soixante fours à coke;
3° De dix fours à pudler;
4° De quatre fours de chaufferie;
5° De deux machines à vapeur;
6° Et des diverses machines de compression que comportera ladite usine.

Lavoir à cheval, à Cresancey.

Ordonnance du 15 *décembre* 1837, *portant que* MM. Wautherin *et* Vuillier, *locataires pour vingt années de quatre lavoirs à bras établis dans la commune de* Cresancey (Haute-Saône), *sur le cours d'eau de la fontaine dite* Faux-Saint-Martin, *conformément à l'ordonnance royale du* 16 *août* 1826, *par* MM. Ardaillon *et* Bessy, *et appartenant actuellement à* M. Guyotte, *sont autorisés à substituer un lavoir à cheval à deux de ces lavoirs à bras.*

(Extrait.)

Art. 4. Le bénéfice de la présente permission est réservé à M. Guyotte, à l'expiration du bail de MM. Vautherin et Vuillier, à la charge par lui de remplir toutes les obligations qui sont imposées à ces derniers.

Lavoir à cheval, à Cugney.

Ordonnance du 15 *décembre* 1837, *portant que* MM. Vautherin *et* Vuillier *sont autorisés à établir un lavoir à cheval pour le lavage du minerai de fer sur un terrain dont ils possèdent une partie et tiennent l'autre à bail de* M. André Blanchard *et des héritiers* Valère Blanchard, *au lieu dit le* Pré du Mont, *commune de* Cugney, *arrondissement de* Gray (Haute-Saône).

Les articles 3 et suivants prescrivent l'établissement de bassins d'épuration.

Ordonnance du 15 décembre 1837, portant que M. GOUPIL est autorisé à conserver et tenir en activité les forges de DAMPIERRE, qu'il possède dans la commune de DAMPIERRE-SUR-BLÉVY, arrondissement de DREUX (Eure-et-Loir). **Forges de Dampierre.**

Ces usines sont et demeurent composées :
1° De deux feux de renardière ;
2° D'une chaufferie ;
3° De trois fours à réverbère ;
4° D'un gros marteau ;
5° D'une fenderie ;
6° D'une taillanderie.

Ordonnance du 15 décembre 1837, portant que M. GOUPIL est autorisé à conserver et tenir en activité le haut-fourneau de BOUSSARD qu'il possède sur le ruisseau de ce nom, commune de SENONCHES, arrondissement de DREUX (Eure-et-Loir). **Haut-fourneau de Boussard, à Senonches.**

Ordonnance du 15 décembre 1837, portant que M. CHANLAIRE est autorisé à établir un bocard et un patouillet pour la préparation du minerai de fer, sur un canal de décharge des moulins de VASSY, dans un clos attenant à l'usine qu'il possède dans la commune de BROUSSEVAL, arrondissement de VASSY (Haute-Marne). **Bocard et patouillet, à Brousseval.**

Les articles 7 et suivants prescrivent l'établissement de bassins d'épuration.

Ordonnance du 24 décembre 1837, portant que M. DE HÉDOUVILLE est autorisé à établir un bocard et un patouillet pour la préparation du minerai de fer, sur le ruisseau de SOMMERMONT, dans sa **Bocard et patouillet, à Sommermont.**

propriété, au lieu dit LA PIÈCE DU BREUIL, *commune de* SOMMERMONT (Haute-Marne).

Les articles 9 et suivants prescrivent l'établissement d'un bassin d'épuration.

Bocard et patouillet, à Louvemont.

Ordonnance du 24 *décembre* 1837, *portant que* M GEOFFROY DE LAIGLE *est autorisé à établir un bocard à huit pilons et un patouillet à deux huches, pour la préparation du minerai de fer, sur le ruisseau de* HAUBERT, *dans sa propriété, située au lieu dit le* CHAMP-GERBEAU, *commune de* LOUVEMONT (Haute-Marne).

Les articles 7 et suivants prescrivent l'établissement d'un bassin d'épuration.

Bocard et patouillet, à Chevillon.

Ordonnance du 26 *décembre* 1837, *portant que* MM. FRERSON-PLIQUE *et* CUREL *sont autorisés à établir un bocard à dix pilons et un patouillet à deux huches, pour la préparation du minerai de fer, en remplacement d'un des tournants du moulin qu'ils possèdent sur le ruisseau de* CHEVILLON, *commune de ce nom, arrondissement de* VASSY (Haute-Marne).

Les articles 6 et suivants contiennent les dispositions relatives au bassin d'épuration, etc.

Mines de houille de la Vernade.

Ordonnance du 27 *décembre* 1837, *portant qu'il est fait concession à* M. Paul RAMBOURG, *à* Madame veuve RAMBOURG, *sa mère, à* MM. Louis et Charles RAMBOURG, *ses frères, des mines de houille comprises dans les limites ci-après définies, canton de* MONTAIGUT (Puy-de-Dôme).

Cette concession, qui prendra le nom de *concession de*

la Vernade, est limitée, conformément au plan annexé à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir :

Au sud-est, par une ligne menée du confluent de la Boubre et du ruisseau de l'étang Nique à l'angle nord-ouest du bâtiment principal du domaine dit : Chez-Roche ;

Au sud-ouest, par une ligne menée du dernier point ci-dessus au point de croisement des chemins de Montaigut à Ebreuille, et des Bayons aux Tuileries, mais prolongée jusqu'à sa rencontre au point X avec une autre ligne menée du milieu de la maison la plus orientale du village de Sucharet au milieu du bâtiment d'exploitation du domaine de la Vernade d'en haut ;

Ladite limite sud-ouest forme la limite nord-est de la concession de la Roche ;

A l'ouest, par la ligne ci-dessus indiquée, menée du Sucharet à la Vernade d'en haut, depuis le point X jusqu'au point de rencontre E du prolongement de ladite ligne avec le ruisseau de l'étang Nique ;

Au nord, enfin, par une ligne menée du point E au confluent de la Boubre et du ruisseau de l'étang Nique, point de départ ;

Lesdites limites renfermant une étendue superficielle de 1 kilomètre 54 hectares.

L'article 7 porte que M. Blaise Brun est notamment renvoyé à se pourvoir devant le conseil de préfecture pour le règlement, s'il y a lieu, de l'indemnité à laquelle il jugerait devoir prétendre, relativement aux travaux qu'il a exécutés sur la mine de Lacroix, comprise dans la présente concession de la Vernade.

Mines de houille de la Roche.

Ordonnance du 27 *décembre* 1837, *portant qu'il est fait concession à* M. Antoine Thévenin, *à* Madame Bidou, *son épouse, et à* MM. Claude-Antoine et Antoine-Philippe-Remi Thévenin, *leurs fils, des mines de houille comprises dans les limites ci-après définies, canton de* Montaigut (Puy-de-Dôme).

Cette concession, qui prendra le nom de *concession de*

la Roche, est limitée, conformément au plan annexé à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir :

A l'est, par une ligne menée de l'angle nord-ouest du bâtiment principal du domaine dit *Chez-Roche*, au point de rencontre F de la limite nord du bois taillis que M. Antoine Thévenin possède au terroir des Sapins (article 669, section C du plan cadastral de Saint-Eloy), avec une ligne menée du confluent de la Boubre et du ruisseau de l'étang Nique, à l'angle sud de la maison la plus orientale du hameau de Puyssidoux;

Au sud, par une ligne menée du point F au point de rencontre G du ruisseau des Moulins, avec une ligne menée du milieu de la maison la plus orientale du village de Sucharet, au milieu du bâtiment d'exploitation du domaine de la Vernade d'en haut;

A l'ouest, par la ligne ci-dessus indiquée, depuis le point G jusqu'à son point de rencontre X, avec le prolongement d'une ligne menée de l'angle nord-ouest du domaine dit *Chez-Roche*, au point de croisement des chemins de Montaigut à Ebreuille, et des Bayons aux Tuileries ;

Au nord-est, par cette dernière ligne, depuis la pointe X jusqu'à l'angle nord-ouest dn bâtiment principal du domaine dit *Chez-Roche*, point de départ ;

Ladite limite nord-est forme la limite sud-ouest de la concession de la Vernade;

Les limites ci-dessus indiquées renfermant une étendue superficielle de 1 kilomètre 98 hectares.

Mines d'anthracite du Puy-St-André.

Ordonnance du 28 *décembre* 1837, *portant qu'il est fait concession à* MM. Hilaire BARNÉOUD ARNOULET *des mines d'anthracite comprises dans les limites ci-après définies*, *commune du* PUY-SAINT-ANDRÉ (Hautes-Alpes).

Cette concession, qui prendra le nom de *concession du Puy-Saint-André*, est limitée, conformément au plan annexé à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir :

Au nord, par une ligne séparative des communes de Saint-Pierre et de Saint-André, depuis le rocher marqué de la lettre B, servant de limite à la concession de *Com-*

barine, jusqu'au rocher marqué G, autre point limite de la même concession;

A l'est, par une ligne menée du rocher marqué G' au sommet D du rocher des Aiguillettes, et de là au sommet H du plus haut mamelon situé entre le torrent Saugnié et le torrent de la Fortune;

Au sud, par une ligne joignant le sommet H dudit mamelon au point d'intersection F du canal appelé le *Chenal* avec le ruisseau du Puy-Chovin, et allant de là au four banal E dudit Puy-Chovin,

A l'ouest, par une ligne droite tirée du four banal E du Puy-Chovin au rocher marqué B, sur la limite des communes de Saint-Pierre et de Saint-André, point de départ;

Lesdites limites renfermant une étendue superficielle de 103 hectares.

Oordonnance du 28 *décembre* 1837, *portant qu'il est fait concession à* MM. Antoine Fine *et* Jean-Baptiste Léautaud *des mines d'anthracite comprises dans les limites ci-après définies, communes de* Briançon *et du* Puy-Saint-André (Hautes-Alpes). Mines d'anthracite de Gagniare.

Cette concession, qui prendra le nom de *concession de Gagniare*, est limitée, conformément au plan annexé à la présente ordonnance, ainsi qu'il suit, savoir :

Au nord-est, par une ligne brisée partant du rocher G, limite de la concession de *Combarine*, passant par le rocher F, de la Fisselle, par le pont A du mas de la Draye, et venant aboutir à la maison B de la Clapière;

Au sud-est, par une ligne droite menée de la maison B de la Clapière au rocher C dit de Saugnié;

Au sud-ouest, par une ligne droite joignant le rocher C de Saugnié au sommet D du plus haut mamelon, situé entre le torrent Saugnié et le torrent de la Fortune;

Enfin au *nord-ouest*, par une ligne menée du sommet D, du mamelon précité au sommet E du rocher des Aiguillettes, et de là au rocher marqué G, point de départ;

Lesdites limites renfermant une étendue superficielle de soixante-dix-sept hectares.

PERSONNEL.

Par ordonnance du roi, du 5 *septembre* 1837, — M. Mœvus, aspirant au corps royal des mines, a été nommé ingénieur ordinaire de 2e classe.

Par ordonnance du 21 *septembre* 1837, — M. Clapeyron, ingénieur ordinaire de 1re classe au corps royal des mines, a été promu au grade d'ingénieur en chef de 2e classe.

Par ordonnance du 9 *octobre* 1837, — M. Regnault, aspirant au corps royal des mines, a été nommé ingénieur ordinaire de 2e classe.

Par arrêté de M. le ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce, du 2 *juillet* 1837, — MM. Declerck, Ebelmen et Sauvage, élèves-ingénieurs des mines, sont nommés aspirants.

Par arrêté du ministre, du 31 *juillet* 1837, — M. Sauvage, aspirant-ingénieur des mines, est chargé définitivement du service du sous-arrondissement de Mézières, en remplacement de M. de Hennezel, ingénieur ordinaire placé dans la réserve.

Par arrêté du ministre, du 31 *juillet* 1837, — M. Lecocq, ingénieur ordinaire des mines, attaché temporairement aux travaux relatifs aux collections de l'Ecole, est adjoint à l'ingénieur en chef, inspecteur des études, pour la garde et la conservation de ces collections.

Par arrêté du ministre, du 18 *novembre* 1837, — M. Puvis, ingénieur en chef des mines de l'arrondissement de Mâcon, est placé dans la réserve.

Par arrêté du ministre, du 15 *décembre* 1837, —

MM. Manès et Parrot, ingénieurs ordinaires, sont chargés de remplir les fonctions d'ingénieurs en chef, le premier dans les départements de l'Ain et de Saône-et-Loire, et le second dans les départements du Doubs et du Jura.

Élèves admis à l'Ecole royale des mines le 4 octobre 1837.

MM. Galissard de Marignac,
Vatinelle,
Cacarrié,
Durocher,
Piérard.

CIRCULAIRES

Adressées à MM. les Préfets et à MM. les Ingénieurs des mines.

Paris, le 20 septembre 1837.

Demandes en concurrence pour des concessions de mines.

Monsieur le préfet, l'article 26 de la loi du 21 avril 1810 a fixé un délai pour l'admission, dans l'instruction locale, des oppositions et des demandes en concurrence formées en matière de concessions de mines.

L'article 28 ajoute que, jusqu'à ce que l'ordonnance qui statue sur la concession ait été rendue, toute opposition sera admissible devant le ministre ou le secrétaire général du conseil d'état.

Bien que ce dernier article ne fasse mention que des oppositions, on a toujours entendu jusqu'ici qu'il s'appliquait également aux demandes en concurrence, et qu'ainsi elles pouvaient être recevables jusqu'à l'émission de l'ordonnance.

L'instruction ministérielle du 3 août 1810, qui a eu pour objet de pourvoir à l'exécution de la loi, s'explique à cet égard formellement ; elle a compris sous une même dénomination les demandes en concurrence et les oppositions. Pareille assimilation se trouve dans un arrêté pris à ce sujet par M. le ministre de l'intérieur, le 27 octobre 1812, et dans une circulaire du même ministre, du 3 novembre suivant.

Si l'on consulte les termes et l'esprit de la loi de 1810, on voit que cette interprétation y est entièrement conforme. Un droit n'est pas conféré aux demandeurs qui se sont pourvus dans les délais indiqués par l'article 26 ; la priorité de la demande est un titre que l'on peut faire valoir ; elle n'est point une cause d'exclusion pour d'autres prétendants que des circonstances particulières, la découverte qu'ils auraient faite de nouvelles couches ou de

nouveaux filons, peuvent déterminer à solliciter une concession pour laquelle ils n'avaient pas d'abord songé à se mettre sur les rangs. Le gouvernement est juge, d'après l'article 16, des motifs ou considérations qui doivent décider de la préférence à accorder à tel ou tel des demandeurs, et il importe à l'intérêt public, première base de la législation en fait de mines, qu'il puisse choisir parmi le plus grand nombre possible de concurrents.

Mais en même temps, par cela que les articles 27 et 28 autorisent à statuer sur la concession à l'expiration du délai des affiches et publications, et après l'accomplissement des formalités prescrites aux articles précédents, l'intervention de nouveaux concurrents, à ce degré de l'instruction, ne saurait contraindre nécessairement à suspendre la marche de l'affaire et à surseoir à la concession. De même que l'existence des demandes antérieures, présentées dans les délais et complétement instruites, ne met pas cependant obstacle à ce que l'administration, lorsqu'elle le juge conforme à l'intérêt général, ajourne la décision et ordonne l'instruction préalable de nouvelles demandes, de même la production de ces dernières ne peut l'empêcher de passer outre, si elle reconnaît que toutes les conditions désirables se trouvent déjà réunies pour que la mine soit concédée. Ce qui est indispensable, c'est que la demande de celui que l'on choisira pour concessionnaire ait été soumise à toutes les formalités voulues par la loi. On n'aurait pas le droit d'accorder la concession à l'un des concurrents dont la demande n'aurait point complétement subi ces formalités; mais on n'est pas obligé de les recommencer indéfiniment au gré des nouveaux prétendants qui viendraient se présenter. Autrement, il n'y aurait point de terme aux affaires. Les circonstances propres à chaque espèce et les considérations d'utilité publique doivent seules décider s'il est juste et convenable, suivant tel ou tel cas, de différer a concession ou de l'instituer.

Tels sont les principes qui, à la suite d'un examen récent de ces questions, ont été reconnus par le conseil d'état, sections réunies, devoir servir de règles en ces matières.

On a jugé que lorsque des demandes en concession de mines ont été instruites conformément aux dispositions prescrites par la loi du 21 avril 1810, le gouvernement peut, nonobstant une nouvelle demande qui serait pré-

sentée, accorder la concession à celui des demandeurs dont la pétition se trouverait avoir déjà subi toutes les formalités voulues;

Qu'il est toujours libre aussi, quand des demandes en concurrence interviennent après les délais, de surseoir à la concession, s'il le juge convenable, et d'ordonner l'instruction de ces nouvelles demandes.

C'est d'après ces règles qu'il devra être procédé au sujet des concessions des mines que l'on aura à instituer. Ces points étaient importants à fixer. La solution qui leur est donnée et qui est tirée de l'esprit et des termes de la loi concilie tous les intérêts; prévient les entraves qui pourraient être apportées dans les affaires par des réclamations intempestives; elle fournit, d'un autre côté, les moyens d'apprécier tous les titres fondés qui, par quelque cause que ce soit, auraient été empêchés de se produire dans une première instance. Ici, comme en tout, l'administration s'est efforcée de chercher ce qui pouvait être utile à l'industrie, favoriser son essor et seconder ses progrès.

Je joins une copie de l'avis du conseil d'état (1) à la suite de la présente circulaire, dont j'adresse une ampliation à MM. les ingénieurs des mines. Je vous prie de m'en accuser réception.

Agréez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée,

Le conseiller d'état, directeur général des ponts-et-chaussées et des mines,

Signé LEGRAND.

Paris, le 30 septembre 1837.

MINIÈRES DE FER. — Cessions du droit d'exploiter faites par les propriétaires du sol — Effets de ces cessions.

Monsieur le préfet, la loi du 21 avril 1810 a conféré aux usines régulièrement établies un droit d'usage sur les minières de fer qui sont situées dans leur voisinage. Elle exige que le propriétaire du fonds les exploite pour fournir à leurs approvisionnements; et, s'il n'exploite pas, elle donne au

(1) V. les *Annales des mines*, 3e série, tome XI, page 665.

maître de forges la faculté d'extraire à sa place. Par ces dispositions, la loi a voulu prévenir le chômage des forges et assurer leur existence, qui importe à l'intérêt public.

Mais il arrive quelquefois que des propriétaires de minières cèdent à des tiers leur droit d'exploitation. On s'est demandé si ces sortes de cessions sont valables; si la déclaration que le propriétaire, aux termes de l'article 59, est tenu de faire pour exploiter peut être présentée en son nom par ses cessionnaires; et, dans le cas où elle serait accueillie, si c'est toujours au propriétaire ou bien aux cessionnaires que le maître de forges doit s'adresser, si l'exploitation n'a pas lieu, pour mettre le possesseur du terrain en demeure de fournir aux besoins de l'usine, dans les circonstances prévues par les articles 60 et 62 de la loi.

Plusieurs maîtres de forges ont représenté qu'ils éprouveraient de grands embarras, de grands préjudices, s'ils étaient obligés, au lieu de s'adresser à un petit nombre de propriétaires, d'avoir des actions à exercer contre différents cessionnaires, qui pourraient leur susciter des difficultés et entraver leurs entreprises : il convenait de determiner la marche que l'on devait tenir en pareil cas, et de préciser les règles de la matière

C'est en vue seule de l'intérêt public que la loi a restreint la jouissance du propriétaire sur la disposition du minerai que renferme son terrain; hors les cas exceptionnels qu'elle a spécifiés, elle n'a point dérogé au droit commun en ce qui concerne ce minerai; elle n'a pas, par conséquent, privé le propriétaire de la faculté de céder à des tiers son droit de les exploiter. On doit reconnaître que cette faculté lui appartient: qu'en l'exerçant il agit dans la limite de ses droits, et que ses cessionnaires, s'ils justifient de leur mandat par actes authentiques, peuvent être admis à faire en son nom la déclaration indiquée dans l'article 59.

Mais en même temps le propriétaire de la minière ne peut et ne doit rien changer aux obligations que la loi lui a imposées, et qui sont une servitude inhérente à sa propriété. Il ne saurait, par conséquent, modifier en aucun cas les rapports qu'elle lui a créés vis-à-vis de l'autorité administrative et des propriétaires d'usines. En énonçant que ces rapports seraient immédiats, que c'est au propriétaire du fonds que l'on s'adresserait, la loi a voulu expressément veiller à ce que l'approvisionnement des forges se

fît de la manière la plus sûre et la plus prompte : son but serait éludé si le propriétaire pouvait convertir en une action personnelle contre ses cessionnaires l'action directe, immédiate, que l'administration et les maîtres de forges ont le droit d'exercer contre lui. Il suit de là que le propriétaire de la minière doit rester toujours le véritable obligé ; qu'en donnant acte aux concessionnaires de la déclaration par eux présentée, ce n'est qu'à titre de mandataires qu'on reçoit leur intervention, et que la permission qui est délivrée ne peut valoir que pour le propriétaire ; qu'en un mot c'est lui seul qu'on doit reconnaître, soit qu'il agisse par lui-même, soit qu'il se présente dans la personne de ses mandataires ; et que, si le minerai n'est pas exploité, c'est lui exclusivement qui doit être mis en demeure d'en opérer l'extraction pour les approvisionnements des usines du voisinage.

De cette manière, on respecte et l'on concilie tous les intérêts ; les cessions faites par le propriétaire du terrain ne peuvent préjudicier ni à la société ni aux maîtres de forges ; l'intention de la loi est remplie, les règles qu'elle a posées reçoivent leur entière exécution.

C'est à l'effet de fixer ces principes que, sur mon rapport, M le ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce, a pris l'arrêté dont je vous transmets une ampliation.

Cet arrêté admet que le propriétaire d'un terrain sur lequel il y a du minerai de fer peut céder à des tiers la faculté d'exploiter à sa place, mais sans s'exempter en aucune façon de ses obligations. Il porte en conséquence qu'il ne pourra être donné acte à des cessionnaires de leurs déclarations, qu'à la condition qu'elles seront accompagnées de pièces authentiques attestant qu'ils sont mandataires du propriétaire du sol ; que la permission ne vaudra que pour ce propriétaire, et que c'est à lui exclusivement que les maîtres de forges continueront de s'adresser pour le mettre en demeure d'exploiter si les cessionnaires n'exploitent pas.

Il reste entendu que l'acte de déclaration qui est donné, soit au propriétaire de la minière, soit à ses cessionnaires, doit toujours déterminer les limites de l'exploitation et les règles à suivre sous les rapports de sûreté et de salubrité publiques, conformément à ce que prescrit l'article 58 de la loi.

Il vous appartiendra, monsieur le préfet, de faire l'application de ces dispositions aux espèces sur lesquelles vous aurez à statuer dans votre département.

Je joins une copie de l'arrêté du ministre (1) à la suite de la présente, dont j'adresse une ampliation à MM. les ingénieurs des mines. Je vous prie de m'en accuser réception.

Agréez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée,

Le conseiller d'état, directeur général des ponts-et-chaussées et des mines,

Signé LEGRAND.

Paris, le 2 octobre 1837.

Minières de fer. — Servitude de ces minières envers les usines du voisinage. — Concurrence des maîtres de forges pour les minerais du même fonds.

Monsieur le préfet, d'après l'article 59 de la loi du 21 avril 1810, les propriétaires des minières de fer sont tenus de les exploiter eux-mêmes ou de les laisser exploiter pour les besoins des usines du voisinage.

Deux questions se sont élevées à ce sujet: on a demandé comment devait être interprétée cette expression de *voisinage;* et, d'autre part, si des cantonnements peuvent être assignés à des usines, dans les minières, pour leurs approvisionnements.

Ces questions, qui intéressent à un haut degré l'industrie des forges, appelaient un sérieux examen.

Lorsque la loi a spécifié que les propriétaires de minières de fer seraient obligés de fournir, autant que possible, aux besoins des usines voisines, elle n'a pas voulu donner au mot *voisinage* une acception rigoureuse, invariable, et telle que le sens n'en pût être restreint ou étendu suivant la diversité des cas qui peuvent se rencontrer. Cela aurait été impraticable, et la nature même des choses s'y opposait.

Beaucoup d'usines sont dans la nécessité de tirer de fort loin tout le minerai qu'elles consomment; les gîtes de fer les plus rapprochés en sont quelquefois à dix ou quinze lieues, et même davantage. Par exemple, les gîtes de fer de Rancié, dans l'Ariége, alimentent des usines situées à

(1) Voir les *Annales des mines*, 3e série, tom. XI, pag. 674.

plus de quarante lieues. Dans d'autres localités, les forges ne peuvent être alimentées que par plusieurs minières qui sont placées de différents côtés, et il arrive souvent que les gîtes les plus voisins du côté du midi sont à une grande distance, tandis que ceux du nord sont à proximité.

Ainsi, telles usines, quoique éloignées d'une minière, doivent être regardées comme comprises dans le rayon de voisinage, s'il n'existe pas d'exploitation plus prochaine où elles puissent trouver les minerais qui leur sont nécessaires. Pour une même usine, ce rayon varie, lorsqu'ayant besoin des produits de différents gîtes, les uns sont à sa porte, les autres en sont plus ou moins éloignés

Il était impossible, en un mot, d'établir pour le rayon de voisinage une règle fixe et uniforme : il est de sa nature essentiellement variable; il se modifie selon les circonstances, les localités et les accidents qui peuvent se rencontrer.

Aussi la loi ne l'a t-elle point déterminé. Il résulte des termes mêmes qu'elle a employés, que ces sortes d'affaires doivent donner lieu à des solutions spéciales, relativement à chaque minière.

Par conséquent, lorsque des questions de voisinage se présentent pour des usines, c'est aux préfets, chargés, aux termes de la loi, de régler les exploitations des minières, qu'il appartient de statuer d'après les espèces, les lieux et les circonstances, sauf recours devant l'autorité supérieure s'il y a réclamation.

Mais il ne saurait être question de désigner dans les minières des cantonnements où certaines usines plus ou moins rapprochées auraient seules la faculté de s'approvisionner. L'article 59 de la loi, en établissant au profit des maîtres de forges une servitude sur les minières de leur voisinage, n'a pas entendu leur conférer ici un droit exclusif, à l'aide duquel ils pourraient évincer les autres établissements qui auraient besoin de ces mêmes minerais. Cet article porte uniquement que tout propriétaire de minière ne pourra refuser de satisfaire, autant que possible, aux besoins des maîtres de forges qui sont établis dans le voisinage. Les dispositions qui suivent confèrent à ces maîtres de forges la faculté d'obliger ce propriétaire à extraire en quantité suffisante pour fournir à leurs approvisionnements, ou de les laisser exploiter à sa place s'il ne veut pas exploiter lui même. Elles leur donnent aussi le droit

d'être servis les premiers, de préférence aux autres usines qui ne peuvent se dire voisines ; mais, leurs approvisionnements réglés, le propriétaire est libre de vendre du minerai à d'autres, d'en expédier où bon lui semble.

En effet, par ces expressions, qu'il fournira, *autant que faire se pourra*, aux besoins des usines établies dans le voisinage, l'article 59 reconnaît qu'il peut arriver que les produits d'une minière ne suffisent pas pour alimenter les usines voisines, ce qui implique évidemment qu'elles auront la faculté de se pourvoir ailleurs, non plus, il est vrai, avec privilége, mais du moins comme pourra le faire toute manufacture dans d'autres industries. Or, cette faculté leur serait ôtée si chaque minière, dévolue exclusivement aux usines du voisinage, ne pouvait admettre d'autres forges plus éloignées à prendre part dans ses produits.

L'article 64 est plus explicite encore : il spécifie expressément que plusieurs maîtres de forges, sans distinguer entre ceux qui sont ou non voisins de la minière, pourront y exploiter. De même il les autorise indistinctement à venir acheter du minerai au propriétaire du sol, lorsque c'est celui-ci qui exploite. Il veut uniquement que, dans l'un et dans l'autre cas, la part de chacun d'eux soit réglée par le préfet.

Il résulte de l'ensemble de ces dispositions qu'il ne peut y avoir lieu qu'à régler ces proportions entre les usines qui se trouvent en concurrence pour acheter ou pour exploiter sur un même fonds, et non à affecter des cantonnements à tels ou tels établissements ; qu'enfin le droit de voisinage pour un maître de forges se borne à pouvoir exiger du minerai de la minière comprise dans son rayon, et à être servi avant tout autre plus éloigné, dans la proportion de ses besoins actuels. Les décisions que l'administration a eu plusieurs fois occasion de rendre ont été conformes à ces principes. Un grand nombre de points de la France en offrent l'application : on voit les produits qui excèdent la consommation des usines de la localité être annuellement transportés à des distances plus ou moins considérables, sans qu'il s'élève de réclamations, et c'est ainsi notamment que l'on fond à Saint-Etienne des minerais de l'Ain et de la Haute-Saône, et que les usines de la Gironde et même des Landes tirent des minerais de la Dordogne et du département de Lot-et-Garonne.

A la vérité, il existe deux exemples où des minières sont

exclusivement affectées à un certain nombre d'usines situées dans leur circonscription : ce sont les minières *de Saint-Pancré* et celles d'*Audun-le-Tiche* et d'*Aumetz*, dans le département de la Moselle. Mais ce n'est là qu'un régime tout à fait exceptionnel, dont l'origine remonte à des temps reculés, et qui a été conservé en raison d'antiques usages du pays, des anciens titres, des droits acquis sur lesquels il était fondé, et de la nature spéciale de ces gîtes, qui exigeait des règles particulières pour leur aménagement, nécessaire à l'intérêt public.

En général, il y aurait de très-graves inconvénients à affecter à des usines des périmètres qui leur seraient exclusivement réservés. L'administration y trouverait sans doute plus de facilité pour prévenir les contestations entre les maîtres de forges, mais une semblable mesure dérogerait au principe de la loi, puisqu'elle équivaudrait à une sorte de régime de concession des minières de fer, régime que le législateur a interdit, sauf les cas exceptionnels qu'il a prévus; on ajouterait arbitrairement des limites à l'exercice du droit de propriété; on entraverait les améliorations qui pourraient être obtenues dans les forges par des mélanges de minerais provenant de différents lieux; on compromettrait l'avenir de l'industrie, en créant en faveur de quelques maîtres de forges des droits absolus qui empêcheraient la formation de nouvelles usines, et même, dans certains cas, mettraient obstacle à ce que les usines actuellement existantes pussent prendre de l'accroissement. Il est donc ici dans l'intérêt de tous que l'on n'établisse pas de ces sortes de cantonnements.

Il importait de bien fixer ces principes. M. le ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce, a pris à cet effet, sur mon rapport, un arrêté dont je vous transmets une expédition (1).

Il porte que les déterminations de rayons de voisinage pour les usines, relativement aux minières de fer, ne pouvant être absolues, et dépendant des circonstances locales, c'est aux préfets à appliquer, dans chacun des cas particuliers sur lesquels ils sont appelés à se prononcer, les dispositions de la loi, à ce sujet, d'après les faits propres à chaque espèce; que pareillement ils doivent, lorsqu'il y

(1) Voir les *Annales des mines*, 3e série, tome XI, page 678.

a concurrence entre plusieurs maîtres de forges pour exploiter ou pour acheter du minerai sur un même fonds, régler les proportions suivant lesquelles chacun d'eux y participera ; mais qu'en aucun cas il ne sera désigné, dans les minières, des cantonnements pour l'approvisionnement de ces usines.

Je vous prie de m'accuser réception de la présente circulaire, dont j'adresse une ampliation à MM. les ingénieurs des mines.

Recevez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le conseiller d'état, directeur général des ponts-et-chaussées et des mines,

Signé LEGRAND.

Paris, le 31 octobre 1837.

Demandes en concession des mines.

Monsieur le préfet, la loi du 21 avril 1810 a distingué les cas où il y a lieu de procéder à l'instruction d'une demande en concession de mines et à l'institution de la concession, de ceux où il ne peut encore être question que d'opérer des travaux de recherches.

Il est évident que la première chose à faire pour solliciter la concession d'un gîte minéral, et pour que l'administration puisse donner suite à la demande, c'est de justifier qu'il y a matière à concession.

Cette distinction est souvent oubliée par les personnes qui veulent se livrer à des entreprises de mines. Des concessions sont demandées avant qu'on se soit assuré si des mines existent dans les terrains que l'on indique ; quelquefois, ajoutant trop tôt créance à des découvertes annoncées prématurément, on a commencé l'instruction, fait des publications et affiches, et beaucoup d'inconvénients sont résultés de cette marche trop précipitée : il m'a paru nécessaire de rappeler à cet égard les règles qui doivent être suivies.

La loi a spécifié dans la section Ire du titre III, qui est intitulée : *Des actes qui précèdent la demande en concession de mines*, que des travaux de recherches sont un

préliminaire indispensable quand la présence du gîte minéral est encore ignorée ou n'est point suffisamment connue.

Elle laisse à chacun le droit d'opérer ces recherches sur le terrain dont il est propriétaire. Si l'on n'est point possesseur du terrain, et si l'on n'a pas le consentement de celui à qui il appartient, elle donne la faculté de demander une permission pour exécuter ces travaux : c'est une demande de ce genre et non une demande en concession qui doit être formée lorsque la mine n'est point découverte.

L'article 22 porte, il est vrai, que la demande en concession sera publiée et affichée dans les dix jours de sa réception à la préfecture ; mais l'article 23 ajoute que les affiches seront apposées dans le chef-lieu de l'arrondissement *où la mine est située*, ce qui indique clairement qu'il faut que l'on ait d'abord constaté l'existence de la mine.

Le but des publications et affiches est d'appeler les propriétaires du sol, et en général les tiers qui peuvent y avoir intérêt, à faire valoir les observations ou réclamations qu'ils auraient à produire : ce serait induire le public en erreur, que de lui donner à penser qu'un gîte est reconnu lorsqu'il ne l'est point encore.

Toutes les formalités que la loi du 21 avril 1810 et le décret du 18 novembre suivant ont prescrites, montrent que la première condition à remplir est de justifier *qu'une mine existe.*

Un plan régulier de la surface, dressé ou vérifié par l'ingénieur des mines, et certifié par le préfet du département, doit être joint à la demande : ce plan ne saurait être levé ou ne serait qu'illusoire tant que l'on ignore si le sol recèle effectivement un gîte concessible.

Les ingénieurs en chef sont chargés, par le décret du 18 novembre 1810, de rédiger des projets d'affiches : cette désignation des ingénieurs en chef fait assez voir qu'on n'a point entendu que ces affiches fussent une chose de pure forme. L'intervention de ces fonctionnaires était superflue s'il n'y avait eu de leur part aucun examen à faire, si aucune notion n'eût été à fournir par le demandeur, si en un mot par cela qu'une demande, quelle qu'elle fût, etait présentée, l'affiche était de droit.

L'instruction ministérielle du 3 août 1810, qui a eu pour

objet de pourvoir à l'exécution de la loi, s'est exprimée positivement à cet égard. Elle porte qu'il y a lieu à demande en concession, soit pour des mines nouvellement découvertes, lorsque le gisement des couches minérales est tellement reconnu qu'il y a certitude d'une exploitation utile, soit pour des mines exploitées et non encore concédées. Sans doute on ne doit pas induire de ces expressions qu'il faut, pour procéder à l'instruction d'une demande, ni même à la concession, que l'on ait acquis la preuve que l'exploitation sera profitable au concessionnaire : c'est là une question qu'il serait toujours difficile et souvent impossible de résoudre par avance. Il appartient à celui qui sollicite une concession de calculer les chances de l'entreprise qu'il veut former. Les ingénieurs doivent l'éclairer de leurs conseils, lui fournir les divers documents qui seraient en leur possession relativement à la nature du terrain, au succès plus ou moins probable qu'il peut offrir; mais l'incertitude sur le résultat futur d'une exploitation ne serait point, à moins de circonstances spéciales et déterminantes, une cause de rejet ou d'ajournement. Ce qui est exigé, c'est que la demande ait un objet réel dans une mine véritablement existante.

Si cette condition est nécessaire pour que l'on puisse procéder à l'instruction de la demande, elle est à plus forte raison indispensable pour que l'on institue la concession, et même ici des renseignements plus circonstanciés doivent être requis. Dans le premier cas, il peut suffire que l'on sache positivement qu'une mine existe : pendant la durée de l'instruction, les demandeurs pourront exécuter de nouveaux travaux de recherches et fournir des indications plus complètes. Dans le second cas, celui où il s'agit de concéder la mine, il faut que ces indications aient été préalablement réunies, que l'on connaisse, sinon toutes les circonstances du gisement (ce qui sera le fruit de travaux ultérieurs entrepris en grand), du moins les principales allures de la mine, que l'on ait des données assez précises sur ses ramifications et son étendue présumées; autrement il serait impossible d'assigner, avec quelque connaissance de cause, un périmètre à la concession, d'en déterminer les charges : on serait obligé d'agir aveuglément, au hasard.

Tels sont les principes qui dérivent de la loi et d'après lesquels sont intervenues plusieurs décisions récentes por-

tant qu'il n'y avait point lieu de publier et d'afficher des demandes formées avant que l'existence de la mine eût été constatée, et déclarant comme non avenues d'autres demandes qui avaient pour objet des mines découvertes, mais dont le gisement n'était pas suffisamment connu pour que l'on pût procéder à la concession.

Le refus d'afficher une demande et d'instituer une concession en de semblables circonstances ne peut ni décourager les explorations, ni affaiblir l'activité des recherches. La loi réserve à l'inventeur d'une mine une indemnité pour le cas où la concession est dévolue à un autre : elle alloue également des indemnités pour les travaux entrepris antérieurement à l'acte de concession et dont le concessionnaire pourrait profiter. Ainsi, les explorateurs savent qu'ils pourront recueillir le fruit de tous les travaux véritablement utiles qu'ils auront opérés. On favorise les recherches en accordant, lorsqu'il y a lieu, des permissions pour les porter sur les terrains d'autrui; l'administration met encore tous ses soins à les seconder par les études géologiques qu'elle fait exécuter. Enfin, dans chaque localité, les ingénieurs s'empressent, chaque fois qu'on s'adresse à eux, de fournir le tribut de leurs lumières et de leux expérience aux personnes qui désirent se livrer à ces explorations. C'est là une partie importante de leur mission, et ils s'en acquittent, dans toutes les occasions, avec zèle et dévouement. Mais plus l'administration a le désir de seconder les efforts de l'industrie, plus elle doit éviter tout ce qui pourrait donner crédit à des entreprises qui ne seraient point sérieuses et qui n'offriraient aucune garantie.

Il n'est pas sans exemple que des demandeurs en concession aient abusé d'une publicité prématurément donnée à leur demande, pour engager des tiers à contracter avec eux, à leur remettre des fonds sous prétexte qu'il y avait une mine reconnue, un gage positif pour les contractants, et qu'ils avaient déjà des droits acquis. De même on a vu quelquefois, lorsque des concessions avaient été instituées sans les précautions préalables nécessaires, les titulaires se servir du titre qu'ils avaient entre leurs mains pour induire le public dans de graves erreurs. Il est du devoir de l'administration de chercher par tous les moyens possibles à prévenir de pareils abus. L'un de ces moyens est de veiller à ce qu'aucune demande en concession ne soit publiée

et affichée, et la concession instituée, avant que toutes les conditions voulues par la loi aient été remplies.

Lors donc que des demandes ayant pour but d'obtenir des concessions des mines vous seront présentées, il conviendra, monsieur le préfet, avant d'y donner suite, que MM. les ingénieurs aient vérifié avec soin si les mines dont elles font l'objet existent véritablement.

Ces demandes, aussitôt leur réception, devront être enregistrées à leur date, sur le registre particulier qui doit être tenu à la préfecture, en conformité de l'article 22 de la loi, pour servir ultérieurement en tant que de besoin; mais il ne devra être procédé aux publications et affiches qu'après que les pétitionnaires auront satisfait à l'obligation qui leur est imposée de justifier de l'existence de la mine qu'ils sollicitent.

Je me réfère du reste, quant à la rédaction des projets d'affiches et à l'envoi qui doit m'en être fait, aux dispositions de la circulaire que j'ai adressée le 24 juillet 1834 à MM. les ingénieurs, et dont vous trouverez ci-joint un exemplaire.

Je vous prie de m'accuser réception de la présente circulaire, dont je transmets ampliation à MM. les ingénieurs des mines.

Recevez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le conseiller d'état, directeur général des ponts-et-chaussées et des mines,

Signé LEGRAND.

Paris, le 5 novembre 1837.

Indemnités dues aux propriétaires du sol pour recherches de mines ou travaux d'exploitation. — Occupations de terrains par des concessionnaires de mines.

Monsieur le préfet, les personnes qui entreprennent des recherches de mines, et les concessionnaires qui exploitent les gîtes qui leur ont été concédés, sont tenus, aux termes de la loi du 21 avril 1810, de payer des indemnités aux propriétaires des terrains sur lesquels ils établissent leurs travaux.

L'instruction du 3 août, qui a eu pour objet de pourvoir à l'exécution de la loi, porte, dans sa dernière sec-

tion, que toutes les discussions concernant ces sortes d'indemnités sont du ressort des tribunaux ordinaires.

Il y a eu erreur dans cette indication. En effet, les affaires dont il s'agit rentrent exclusivement dans la compétence des conseils de préfecture.

D'après l'article 10 de la loi, nul ne peut faire des recherches pour découvrir des mines, enfoncer des sondes ou tarières sur un terrain qui ne lui appartient pas, que du consentement du propriétaire de la surface, ou avec l'autorisation du gouvernement, donnée après avoir consulté l'administration des mines, à la charge d'une préalable indemnité envers le propriétaire et après qu'il aura été entendu.

L'article 43 énonce pareillement que les concessionnaires de mines doivent payer des indemnités au propriétaire sur le terrain duquel ils établiront leurs travaux.

Cet article ajoute que si les travaux entrepris par les explorateurs ou par les propriétaires de mines ne sont que passagers, et si le sol peut être mis en culture au bout d'un an, l'indemnité sera réglée au double de ce qu'aurait produit net le terrain endommagé.

Enfin l'article 44 dispose que si l'occupation de terrains pour recherches ou exploitations prive les propriétaires du sol de la jouissance du revenu au delà d'une année, ou si, après les travaux, les terrains ne sont plus propres à la culture, ces propriétaires auront la faculté d'exiger de l'auteur des recherches, ou de l'exploitant, qu'il achète les pièces de terre trop endommagées ou dégradées Ce même article porte que l'évaluation du prix sera faite, quant au mode, suivant les règles établies par le titre XI de la loi du 16 septembre 1807 sur le desséchement des marais, mais que le terrain à acquérir sera toujours estimé au double de sa valeur.

Toutes ces dispositions sont corrélatives entre elles. Les articles 10 et 43 posent le principe que des indemnités sont dues; le second paragraphe de l'article 43 et l'article 44 déterminent d'après quelles bases ces indemnités seront réglées, dans quel cas le propriétaire de la surface pourra exiger qu'on lui achète son terrain. Enfin le second paragraphe de l'article 44 indique comment il sera procédé dans ces diverses circonstances; il porte que l'on suivra les règles établies par le titre XI de la loi du 16 septembre 1807.

Cette dernière loi, au titre dont il est question, statue

que lorsqu'il s'agit de terrains nécessaires pour l'ouverture de canaux et de rigoles de desséchement, ou de terrains pour l'ouverture de canaux de navigation, de routes, etc., le conseil de préfecture réglera, soit le prix de ces terrains si la cession en doit être exigée des propriétaires, soit le montant des indemnités à payer lorsqu'ils ne devront être occupés que temporairement.

Ainsi c'est aux conseils de préfecture (déjà saisis, par la loi du 28 pluviôse an VIII, de la connaissance des demandes et contestations relatives aux indemnités dues aux particuliers à raison de fouilles opérées sur leurs terrains pour la confection de chemins, canaux et autres ouvrages publics) que la loi du 21 avril 1810, en se référant à la loi du 16 septembre 1807, a attribué le règlement des indemnités qui seraient à payer pour des travaux de mines, et l'évaluation du prix des terrains lorsqu'il y a lieu à obliger l'explorateur ou le concessionnaire à en faire l'achat.

Cela ressort non-seulement du texte de la loi, mais encore des discussions qui l'ont précédée. Lorsque le projet fut communiqué à la commission du corps législatif, cette commission demanda la suppression de l'article 44 et celle de l'article 46, qui renvoie expressément aux conseils de préfecture la décision des questions d'indemnités à payer par les propriétaires de mines pour recherches ou travaux faits par des tiers antérieurement à l'acte de concession; elle proposait de le remplacer par une disposition unique, portant que toutes les questions d'indemnités à payer par les propriétaires de mines ou explorateurs *seraient jugées par les tribunaux et cours*. Le conseil d'état conserva ces deux articles, ou du moins il ne fit à l'article 44 que quelques modifications qui ne touchaient point à l'ordre des juridictions, maintenant ainsi positivement celle qu'il avait précédemment proposée, et qui a été instituée par la loi. L'intention formelle a donc été de réserver aux conseils de préfecture le règlement de ces diverses indemnités.

La loi du 16 septembre 1807 a, il est vrai, été modifiée en plusieurs points par deux lois subséquentes, par la loi du 8 mars 1810, et par celle du 7 juillet 1833. Mais la loi du 7 juillet 1833 n'a fait que tracer de nouvelles règles de procédure pour les matières que régissait la loi du 8 mars 1810; elle n'a point changé les juridictions. Quant à la loi du 8 mars 1810, elle a réglé tout ce qui concerne l'expropriation pour cause *d'utilité publique;* elle a déter-

miné ce qui aurait lieu lorsque, par un motif d'intérêt général, la propriété du sol serait ôtée à ceux qui la possèdent. Elle ne s'applique point au cas où des propriétaires se trouvent seulement obligés de souffrir l'occupation de leurs terrains, et peuvent toujours, s'ils le veulent, en conserver la propriété. Ces derniers cas ont continué d'être régis, selon leur nature, soit par la loi du 16 septembre 1807, soit par celle du 28 pluviôse an VIII. La jurisprudence est formelle à cet égard ; elle est établie par plusieurs arrêts du conseil d'état, qui ont décidé que lorsqu'une indemnité est demandée comme dédommagement pour l'occupation momentanée d'un terrain sur lequel des fouilles et extractions ont été effectuées, et non comme le prix d'un fonds dont l'expropriation aurait été ordonnée pour cause d'utilité publique, la fixation de cette indemnité doit être faite par le conseil de préfecture, conformément aux règles prescrites par les articles 55 et 56 de la loi du 16 septembre 1807.

En matière de mines, il n'y a pas expropriation du sol, mais simplement occupation momentanée du terrain. Ce terrain reste à son propriétaire, une partie de la jouissance lui est seulement ôtée pour un temps plus ou moins long, et elle lui est rendue quand les travaux de recherches ou d'exploitation sont épuisés. Si, dans certaines circonstances, lorsque les travaux durent plus d'une année ou rendent le sol impropre à la culture, la propriété peut passer entre les mains de l'exploitant, ce n'est pas, comme dans les cas prévus dans les lois des 8 mars 1810 et 7 juillet 1833, par une expropriation du propriétaire, contre son gré, c'est au contraire par la volonté de celui-ci, parce qu'il l'exige ; c'est lui qui, usant de la faculté que lui confère l'article 44 de la loi du 21 avril 1810, force l'exploitant à acheter le terrain.

La loi du 16 septembre 1807 est donc restée applicable aux règlements de ces indemnités et aux occupations de terrains en matière de mines.

Ainsi c'est aux conseils de préfecture à fixer les indemnités qui peuvent être dues à un propriétaire du sol, en exécution des articles 10 et 43 de la loi du 21 avril 1810, par un explorateur de mines qui a obtenu du gouvernement la faculté d'étendre ses recherches sur des terrains appartenant à ces propriétaires, ou par un concessionnaire qui y entreprend des travaux.

Pareillement, c'est aux conseils de préfecture qu'en vertu de l'article 44 de la même loi, et des articles 56 et 57 de la loi du 16 septembre 1807, un concessionnaire de mines doit s'adresser pour être mis en possession d'un terrain compris dans le périmètre de sa concession, et nécessaire pour un travail d'art, soit passager, soit permanent.

L'instruction du 3 août 1810 ayant indiqué à tort une autre juridiction, ayant fait ainsi une fausse interprétation des dispositions de la loi du 21 avril, en ce qui concerne les articles 10, 43 et 44, M. le ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce, a, sur ma proposition, pris un arrêté qui rapporte les dispositions de la section B, § 1er, de cette instruction, relatives à ces articles.

J'ai l'honneur, monsieur le préfet, de vous transmettre une expédition de cet arrêté.

Je vous prie de m'en accuser réception, ainsi que de la présente circulaire, dont j'adresse une ampliation à MM. les ingénieurs des mines.

Recevez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le conseiller d'état, directeur général des ponts-et-chaussées et des mines,

Signé LEGRAND.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME XII.

GÉOLOGIE ET MINÉRALOGIE.

Notice géologique sur les mines d'anthracite de Fragny, commune de Bully, et sur le défilé des roches de la Loire, entre les bassins de Feurs et de Roanne; par M. *Héricart de Thury*, inspecteur général des mines. 47

Notice sur le cuivre hydrosiliceux ferrifère de Sibérie; par M. *A. Damour* 241

Notice sur le zinc sulfuré cadmifère de la mine de Nuissière, près Beaujeu (Rhône); par M. *A. Damour*. 245

Notice sur un gisement de minerai de fer situé près de Nanteuil (Deux-Sèvres); par M. *de Montmarin*, ingénieur des mines. 597

Mémoire sur la formation du spath calcaire et de l'arragonite; par M. *Gustave Rose*. (Traduit de l'allemand par M. *Comte*, élève ingénieur des mines) 611

CHIMIE.

Recherches sur les combustibles minéraux; par M. *Regnault*, aspirant-ingénieur des mines. . 161

Examen chimique et microscopique de quelques cendres volcaniques; par M. *Dufrénoy*, ingénieur en chef des mines. 355

Nouveau moyen d'analyser les minerais de manganèse; par M. *Ebelmen*, aspirant-ingénieur des mines 607

Moyen de reconnaître la présence du selenium dans le soufre ; par M. *Ebelmen*, aspirant-ingénieur des mines. 610

MINÉRALURGIE.

Poëme sur les forges de Nicolas Bourbon, composé en 1517 ; traduit du latin par M. *Antoine Dufrénoy*. 137

De l'état de la fabrication du fer, et de l'avenir des forges en France et sur le continent de l'Europe ; par M. *Guenyveau*, ingénieur en chef des mines. 1re partie. 259

2e partie. 467

Précis historique sur le traitement direct du fer dans l'Ariége, suivi de quelques détails statistiques sur l'industrie du fer dans ce département ; par M. *François*, ingénieur des mines. 380

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

Expériences sur les roues hydrauliques à aubes planes et à augets ; par M. *A. Morin*, capitaine d'artillerie. (Extrait par M. *Eug. Lefébure de Fourcy*, ingénieur des mines) 3

Notice sur le frein dynamométrique, appareil servant à mesurer la force des machines à vapeur, des roues hydrauliques, et en général de tous les moteurs appliqués aux arbres de couche pour leur imprimer un mouvement de rotation ; par M. *de Saint-Léger*, ingénieur des mines. . . . 67

Note sur le théodolite propre à lever des plans souterrains, et sur quelques améliorations apportées à sa construction ; par M. *Combes*, ingénieur en chef des mines. 149

Notice sur les différentes modifications qui ont été apportées au frein dynamométrique ; par M. *F. Garnier*, ingénieur en chef des mines. 247

Mémoire sur le mouvement de l'air dans les tuyaux de conduite ; par M. *Combes*, ingénieur en chef des mines. 373

Deuxième Mémoire sur le mouvement de l'air dans les conduites, avec des applications à l'aérage des travaux de mines; par M. *Combes*, ingénieur en chef des mines. 403

Notice sur la construction des plates-cuves portantes, établies dans les bures et bouxtays de la Vigne et du Vieux-Baneux, par la Société charbonnière de la Bonnefin, à Liége; par M. *Wellekens*, ingénieur des mines à Liége. 553

Expériences sur le produit des pompes, par M. *Castel*; communiquées par M. *d'Aubuisson*, ingénieur directeur des mines. 603

STATISTIQUE. — MATIÈRES DIVERSES.

Notice sur la constitution de la Société des maîtres de forges de l'Ariége. 577

Tableau statistique des diverses branches de l'industrie minérale en France. Produits de 1835. . 626-627

ADMINISTRATION.

Jurisprudence des mines; par M. *de Cheppe*. . . 627

Ordonnances du roi et décisions diverses concernant les mines, rendues pendant le 2e semestre de 1837 662

Décisions sur le personnel 688

Circulaires adressées à MM. les préfets et à MM. les ingénieurs des mines. 690

Table des matières contenues dans le tome XII. . 709

Explication des planches jointes au tome XII. . . 712

PLANCHES JOINTES AU TOME XII.

Pl. I. Expériences sur les roues hydrauliques à aubes planes et à augets 3

Fig. 1 et 2. Frein dynamométrique. 4
Fig. 3. Roue de la fonderie de Toulouse. 11
Fig. 4. Roue de la sécherie de la poudrerie de Metz. 15
Fig. 5. Roue de la manufacture d'armes de Châtellerault. 17
Fig. 6. Roue de l'atelier de la cristallerie de Baccarat. 20
Fig. 7. Roue de l'atelier des meules de Baccarat. . . 23
Fig. 8. Roue de la filature de MM. N. Schlumberger et compagnie, à Guebwiller (Haut-Rhin). 30
Fig. 9. Roue du moulin de Senelles, pres Longwy. . 34
Fig. 10. Roue de l'aiguiserie de Fleur-Moulin. . 39
Fig. 11. Roue de la forge de la Renardière, à Framont. 41

Pl. II. Défilé des roches de la Loire et mines d'anthracite de Fragny. 47

Fig. 12. Carte du cours de la Loire de Feurs à Roanne. 50
Fig. 2. Vue du défilé des roches de la Loire . . . 50
Fig. 3. Conglomérat dans les schistes argilo-talqueux au Verdier et au moulin de Prelles 57
Fig. 4. Coupe de la couche d'anthracite de Fragny dans le puits des Glandes 60

Pl. III et IV. Frein dynamométrique 67

Fig. 1 et 2. Projections sur deux plans perpendiculaires des parties principales de l'appareil. . 78
Fig. 3, 4, 7, 8. Détails de la lanterne. 78
Fig. 5 et 6. Coupes de l'appareil suivant BB de *fig.* 2. 78
Fig. 9. Projection verticale de l'appareil complet dans le cas d'un arbre de couche horizontal. . . . 85
Fig. 10. Projection horizontale de l'appareil complet dans le cas d'un arbre de couche vertical. . 98
Fig. 11. Frein de M. de Prony 69
Fig. 12. Appareil équilibré à l'aide d'un fléau de balance, l'arbre de couche étant horizontal. . . 88
Fig. 13 à 15. Mode de construction du bras de levier. 81
Fig. 16. Manchon en tôle pour le calage de la lanterne. 84
Fig. 18 à 20. Enveloppe en toile propre à recueillir les eaux, l'arbre de couche étant horizontal. 91
Fig. 21. Système de tuyaux propre à entretenir un courant d'eau froide dans l'appareil 92

Fig. 22 et 23. Clef et engrenage servant à serrer le collier du frein. 94
Fig 24. Coupe verticale de l'appareil dans le cas d'un arbre de couche vertical. 96
Fig. 28. Projection sur un plan perpendiculaire au bras de levier, l'arbre de couche étant vertical. 98
Fig. 29. Poulie χ des *fig.* 9, 10 et 28. 98

Pl. V. Mécanisme propre à régulariser spontanément l'action du frein dynamométrique. — Mouvement de l'air dans les tuyaux de conduite. 247-373-403

Fig. 1. Coupe et élévation d'un mécanisme propre à régulariser spontanément l'action du frein dynamométrique. 257
Fig. 2. Plan de l'appareil. 257
Fig. 3 *à* 6. Voir dans le texte l'explication de ces figures 373-377-392-425

Pl. VI. Construction de plates-cuves portantes, à Liége 553

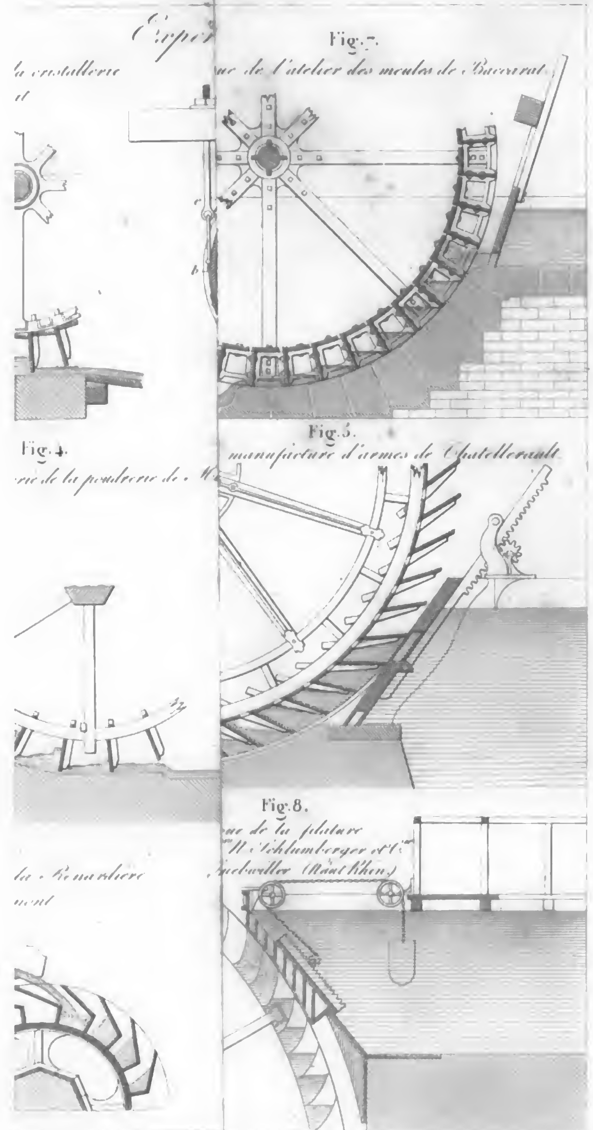
Fig. 1. Plan général indiquant la position des puits de la concession de la Bonnefin, près Liége 555
Fig. 2. Projection verticale du sud-ouest au nord-est, passant par l'axe des bures de la Vigne et du Bayard. 555
Fig. 3 et 4. Plate-cuve simple. 559
Fig. 5. Plate-cuve renforcée, telle que 5, 6 de *fig.* 2. 565
Fig. 6, 7, 8. Plate-cuve renforcée, telle que 1 de *fig.* 2. 566
Fig. 9. Plate-cuve simple pour un terrain très-sain à stratification horizontale. 568
Fig. 10. Plate-cuve pour une mauvaise roche à stratification horizontale. 569
Fig. 11. Plate-cuve pour un terrain à stratification inclinée. 571

Pl. VII. Traitement direct du fer dans l'Ariége. — Gisement de minerai de fer, près Nanteuil (Deux-Sèvres). 580-597

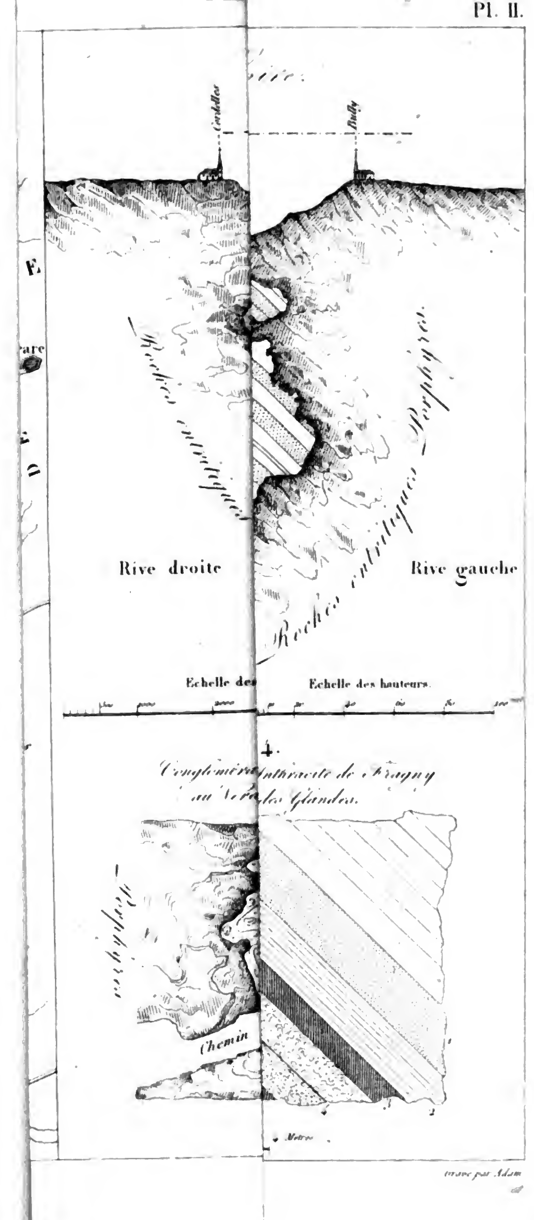
Fig. 1. Creuset d'une petite forge à bras. 582

Fig. 2. Creuset biscayen. 582
Fig. 3. Passage au feu catalan. 583
Fig. 4 et 5. Coupes géologiques prises dans les environs de Nanteuil (Deux-Sèvres). . . . 599
Fig. 6. Esquisse géologique des environs de Nanteuil. 597

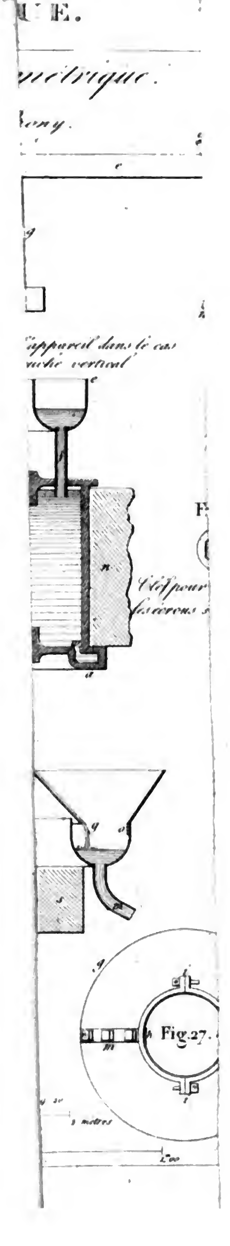
FIN DU TOME DOUZIÈME.


Exper
Fig. 7.
la cristallerie
...ue de l'atelier des meules de Baccarat
Fig. 4.
...rie de la poudrerie de M...
Fig. 5.
manufacture d'armes de Chatellerault
Fig. 8.
...ue de la filature
MM. Schlumberger et Cie
Guebwiller (Haut Rhin)
la Renardière
...ment




Cordelles
Bully
Roches amphiboliques
Rive droite
Rive gauche
Roches arthritiques Porphyres
Echelle des
Echelle des hauteurs.
4.
Conglomérat Anthracite de Bragny au Vers des Glandes.
Porphyres
Chemin
Metres
Gravé par Adam




Clef pour
Fig.27.

Plan

...ect du fer d'Outeuil (Deux Sèvres)

Fig. 1.

d'une petite forge ...

Coupe verticale.

...litique.
Calcaire bleu marneux.
...amellaires.
...racés.
...nt au Macigno.

...ex en rognons.
... oolitique.
...s bleus du Lias.
...amellaires.
...ment des assises de Macigno.

T Argiles et Silex
T' Silex meulières et Calcaire d'eau douce. } Terrain tertiaire.
J Calcaire oolitique.
L Lias et Arkose.
P Terrain primitif.

Echelle.

2 3 4 Kilom.

Gravé par Adam.

